



**TUGAS AKHIR**  
**TEKNIK PEMBENTUKAN**

# **RANCANG BANGUN MESIN ROLL TIRUS UNTUK PEMBUATAN LADEL TUANG LOGAM CAIR**



RSM  
621.815  
Har  
r-1  
2002

Oleh :

**ARIS BUDI HARIONO**  
**NRP. 2197 030 082**

**PROGRAM STUDI DIPLOMA III  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2002**

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	27-3-2002
Tecnis	H
No. Angkutan	215311

## **LEMBAR PENGESAHAN**

# **RANCANG BANGUN MESIN ROLL TIRUS UNTUK PEMBUATAN LADEL TUANG LOGAM CAIR**

## **TUGAS AKHIR**

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Ahli Madya Teknik Mesin  
Pada  
Bidang Studi Manufaktur dan Bahan  
Program Studi Diploma III Jurusan Teknik Mesin  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya**

**Mengetahui / Menyetujui  
Dosen Pembimbing**



**Ir. H. Mahirul Mursid, Msc.**  
**Nip. 131 843 376**

**Surabaya**

**2002**

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Allah S.W.T. atas rahmat dan hidayah-Nya yang dilimpahkan kepada kami sehingga kami dapat menyelesaikan tugas akhir ini

Tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi dan melengkapi satuan kredit semester yang ada pada program studi DIII Teknik Mesin ITS Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dalam penyusunan Tugas akhir ini, kami sangat berterima kasih kepada semua pihak yang turut membantu yaitu:

1. Bapak Ir. Hari Subiyanto, MSc. selaku Ketua Program Studi D III Teknik mesin ITS.
2. Ir. Eddy Widiyono, MSc selaku koordinator tugas akhir.
3. Ir. H. Mahirul Mursid, MSc selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah banyak memberikan arahan dan bimbingan hingga dapat terselesaikannya tugas akhir saya.
4. Ir. Subowo, MSc selaku dosen wali yang telah membimbing dan memberikan arahan hingga dapat menempuh kuliah dengan baik.
5. Terima kasihku kepada Bapak dan Ibu yang telah memberikan dorongan dan motivasi serta doa kepada saya sehingga menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Semua rekan mahasiswa D III Teknik Mesin yang turut memberikan dukungan kepada kami.
7. Semua pihak yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu.

Pada akhirnya kami merasa bahwa penyusunan tugas akhir ini masih jauh dari sempurna, sehingga kritik maupun saran sangat kami harapkan. Harapan kami semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang memerlukan.

Surabaya, Januari 2002

Penulis



## ABSTRAKSI

Industri kecil logam masih banyak menggunakan peralatan yang sederhana, diantaranya pada industri kecil pengecoran logam menggunakan ladel tuang sederhana berbentuk tabung. Ladel tuang tersebut menimbulkan suatu permasalahan seperti laju logam cair saat penuangan tidak merata dan kedudukan ladel tuang harus  $90^\circ$  untuk menuangkan logam cair secara penuh. Dari permasalahan tersebut dicari solusi untuk merancang cawan tuang berbentuk tabung bertirus (berdiameter yang berbeda) dengan menggunakan alat roll tirus.

Alat roll tirus ini menggunakan tiga buah roll yang dipasang secara piramid terdiri dari satu buah roll atas dan dua buah roll bawah, pada roll bagian atas dapat digerakkan secara vertikal untuk menentukan jarak antara roll bagian atas dengan roll bagian bawah. Rancang bangun alat roll tirus ini digerakkan secara manual.

Dari hasil percobaan yang dilakukan pada alat roll tirus yang memiliki diameter  $\varnothing 150$  mm dan  $\varnothing 80$  mm dengan sudut kemiringan  $20^\circ$  dan jarak celah antara roll atas dan roll bawah dilakukan secara berkala tiap 5 mm mendapatkan hasil/produk dari material baja ss (18 – 8 ) cold rolled yang baik sesuai dengan permintaan yaitu diameter atas  $\varnothing 160$  mm dan diameter bawah  $\varnothing 100$  mm.

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAK	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	ix
BAB I	PENDAHULUAN.....1
1.1.	Tinjauan Umum.....1
1.2.	Latar Belakang Permasalahan.....1
1.3.	Perumusan Masalah.....2
1.4.	Tujuan Tugas Akhir .....3
1.5.	Manfaat.....3
1.6.	Batasan Masalah.....3
1.7.	Metodologi.....4
1.8.	Sistematika Penulisan.....4
BAB II	TINJAUAN PUSTAKA
2.1.	Tinjauan Umum.....5
2.2.	Klasifikasi Proses Pembentukan Logam Berdasarkan Gaya Pembentukan.....5
2.3.	Deformasi Elastis dan Plastis .....7
2.4.	Tegangan Alir.....8
2.5.	Proses Bending.....9
2.6.	Syarat-syarat kerja dalam proses bending.....13
2.7.	Gaya pengerollan.....14
2.8.	Roda Gigi ( Gear ).....14
2.9.	Poros.....15
2.10.	Bantalan ( Bearing ).....18
BAB III	PROSES Pengerjaan
3.1.	Tinjauan Umum.....22
3.1.1.	Bahan Produk.....22
3.1.2.	Bentuk dan dimensi produk.....22

3.1.3.	Manfaat produk.....	23
3.2.	Tahapan proses .....	24
3.3.	Pembuatan roll tirus.....	25
3.3.1.	Roll Tirus.....	25
3.3.2.	Pengatur Bending.....	25
3.3.3.	Rangka Roll.....	25
3.3.4.	Roda Gigi.....	25
3.3.5.	Poros.....	26

#### BAB IV PERENCANAAN MESIN ROLL

4.1.	Perencanaan Roll.....	27
4.2.	Perencanaan Roda gigi.....	38
4.2.1	Berat Roda Rigi.....	42
4.3.	Perencanaan Poros.....	43
4.3.1	Perencanaan Poros 1.....	43
4.3.2	Perencanaan Poros 2.....	45
4.3.3	Perencanaan Poros 3.....	55
4.4.	Perencanaan bantalan.....	58
4.4.1.	Bantalan pada poros 1.....	58
4.4.2.	Bantalan pada poros 2.....	59
4.4.3.	Bantalan pada poros 3.....	60
4.5.	Perencanaan Pasak.....	62
4.6.	Ulir Penggerak.....	64

#### BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

#### DAFTAR PUSTAKA

#### LAMPIRAN



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Diagram deformasi elastis dan plastis	8
Gambar 2.2. Definisi pada proses bengkok dan karakteristik dimensi	9
Gambar 2.3. Efek perbandingan lebar terhadap tebal dwi sumbuan dan Keuletan terhadap bengkok pada pembengkokkan	11
Gambar 2.4. Spring back pada bending	12
Gambar 3.1. Dimensi produk	22
Gambar 3.2. Pelat strip	23
Gambar 4.1. Bentangan rancangan pelat roll	27
Gambar 4.2a. Rancangan dasar roll	28
Gambar 4.2b. Roll dalam kondisi normal	29
Gambar 4.3. Posisi roll bekerja maksimal	30
Gambar 4.4. Distribusi gaya pada posisi normal	31
Gambar 4.5. Distribusi gaya pada saat b minimum	32
Gambar 4.6a. Lebar $W_b$ pada roll C	32
Gambar 4.6b. Kerucut dalam tiga dimensi	33
Gambar 4.7. Vektor gaya – gaya pada roll	34
Gambar 4.8. Roll B dan C	35
Gambar 4.9. Gaya tangensial pada roda gigi	37
Gambar 4.10. Gaya – gaya pada poros 1	43
Gambar 4.11. Diagram bidang momen	44
Gambar 4.12. Gaya reaksi pada poros 1	45
Gambar 4.13. gaya – gaya pada roll	46
Gambar 4.14. Reaksi gaya poros arah X	47
Gambar 4.15. Potongan a – a	47
Gambar 4.16. Potongan b – b	48
Gambar 4.17. Potongan c – c	48
Gambar 4.18. Potongan d – d	49
Gambar 4.19. Gaya reaksi poros arah Y	49
Gambar 4.20. Potongan I – I	51



Gambar 4.21. Potongan II – II	51
Gambar 4.22. Potongan III – III	52
Gambar 4.23. Potongan IV – IV	52
Gambar 4.24. Bidang gaya	53
Gambar 4.25. Bidang momen bending	54
Gambar 4.26. Reaksi gaya pada roll 3	55
Gambar 4.27. Reaksi gaya pada poros 3	56
Gambar 4.28. Bidang gaya	56
Gambar 4.29. Bidang momen bending pada poros 3	57
Gambar 4.30. Ukuran ulir penggerak	65

## DAFTAR TABEL

Tabel A.1.1. Tensile properties of wrought carbon and alloy steels	72
Tabel A.1.2. Tensile properties of wrought carbon and alloy steels	73
Tabel A.1.3. Tensile properties of wrought carbon and alloy steels	74
Tabel A.2. Mechanical properties of plain carbon and alloy steels	75
Table A.3. Mechanical properties of carburizing and hardening grade steels	76
Tabel B.1. Values for lewis form factor	77
Tabel B.2. Safe static stresses for use in the lewis equation	79
Tabel B.3. Overload factor, $K_o$	80
Tabel B.4. Load distribution factor, $K_m$	80
Tabel B.5. Guide to limiting error in action for steel spur gear	81
Tabel B.6. Streghth of spur, helical, herribone, and bevel gear Teeth	81
Tabel B.7. Life factor, $K_i$	82
Tabel B.8. Factors of safety, $K_R$ ( fatigue )	83
Tabel B.9. Factors of safety, $K_R$ ( Yeild )	83
Tabel B.10. Wear load factor	84
Tabel B.11. Elastic coeficient	84
Tabel B.12. Load distribution factor for spur	85
Tabel B.13. Allowable contact stress number	86
Tabel B.14. Typical gear and pinion	86
Tabel B.15. Factor of safety	87
Tabel C.1. Coefficients of friction	88
Tabel C.2. Design values of coefficients of frictions	88
Tabel D.1. Deep groove bearings	89
Tabel D.2. Deep groove bearings	91
Tabel D.3. Deep groove bearings	93



## **BAB I**

## **PENDAHULUAN**





## **BAB I PENDAHULUAN**

### **1.1. Tinjauan Umum**

Proses roll merupakan salah satu proses pembentukan logam lembaran (bentuk plat) yang dirubah menjadi bentuk silinder. Roll ini banyak digunakan oleh industri-industri untuk pembuatan tabung-tabung dengan ukuran diameter yang bervariasi. Pada era yang semakin cepat ini kita dituntut untuk meningkatkan sumber daya manusia agar dapat mengangkat standar hidup itu sendiri, yang pada hakekatnya adalah mampu membuat produk-produk serta mesin-mesin untuk kepentingan sendiri.

Dalam usaha memenuhi hal tersebut, maka yang harus diperhatikan tidak saja menyangkut segi kuantitasnya, tetapi juga mutu atau kualitasnya. Karena kebutuhan manusia akan suatu produk teknologi akan semakin tinggi bila ditunjang mutu yang baik.

### **1.2. Latar Belakang Permasalahan**

Dewasa ini persaingan dunia industri terutama industri kecil dan menengah semakin ketat, sehingga industri secara terus – menerus meningkatkan mutu produk-produknya sesuai tuntutan kebutuhan pasar. Dalam hal ini peranan mesin perkakas industri, baik yang konvensional maupun yang otomatis sangatlah besar dalam bidang usaha tersebut. Faktor – faktor seperti : produktivitas, kualitas produksi dan lain-lain harus diperhatikan dalam pemilihan mesin produksi yang digunakan. Untuk menghasilkan suatu produk dapat dilakukan dengan beberapa macam proses produksi antara lain: machining, metal forming, welding, serta casting. Dalam pemilihan proses produksi sangat dipengaruhi oleh kualitas, kuantitas, bentuk, bahan produksi dan lain-lain.

Pada industri kecil pengecoran logam dalam pemenuhan kebutuhan peralatannya yang masih sederhana, hal ini sedikit banyak mengalami kendala seperti salah satunya adalah penyediaan dan penggunaan ladel tuang dengan bentuk tabung silinder. Dimana cawan





tuang ini tidak ekonomis bila dibandingkan dengan yang beredar dipasaran. Hal ini masih dikonsumsi oleh industri kecil karena harganya relatif lebih murah.

Dalam Tugas Akhir ini direncanakan suatu ladel tuang berbentuk tabung bertirus yang proses pembuatannya dengan menggunakan proses roll bending. Untuk itu diharapkan dari hasil pengembangan rancang bangun ini dapat memberikan manfaat yang lebih baik dan ekonomis.

### **1.3. Perumusan Masalah**

Teknologi pengecoran logam membutuhkan ladel tuang untuk menuang logam cair kedalam cetakan coran, khususnya pengecoran yang menggunakan sistem pengecoran dengan hanya mengandalkan gaya grafitasi. Pengecoran sistem grafitasi ini lebih banyak digunakan oleh industri rumah tangga. Pada umumnya cawan tuang yang digunakan berbentuk setengah kerucut (tirus) untuk memudahkan aliran logam cair kedalam cetakan. Dimana ladel ini dibuat dari plat baja yang dibuat dengan membengkokkan plat hingga memenuhi dimensi kerucut. Permasalahannya kemudian adalah membengkokkan plat baja kedalam dimensi kerucut. Sedangkan plat baja memiliki kekuatan yang cukup tinggi. Semakin tebal plat maka tingkat kesulitannya akan semakin tinggi. Apalagi jika harus membuat ladel dengan dimensi yang lebih besar. jika semakin kecil volume ladel maka kemungkinan terjadi pendinginan prematur akan semakin besar sehingga viskositas logam cair turun. Disamping itu dengan ladel yang lebih kecil maka akan dibutuhkan beberapa kali penuangan, ini akan mengakibatkan hasil coran tidak homogen karena distribusi pendinginan tidak secara bersamaan, dan akan terjadi porositas yang berlebih.

### **1.4. Tujuan Tugas Akhir**

Tugas akhir ini di rancang untuk membuat ladel tuang logam cair berbentuk tirus (kerucut) dengan volume ladel tuang sesuai dengan kebutuhan mulai dari ladel yang mempunyai volume kecil hingga besar.



Disamping itu tebal plat ladel tuang yang dibuat akan bervariasi sesuai kebutuhan.

Secara khusus tugas akhir ini adalah merancang mesin roll tirus untuk membuat ladel tuang berbentuk tirus.

### **1.5. Manfaat**

Beberapa hal yang ingin diambil manfaatnya dalam penulisan Tugas Akhir ini adalah :

1. Dapat mempercepat dalam pembuatan suatu produk yang tentunya dalam jumlah besar.
2. Dapat dijadikan terobosan pembuatan produk dengan alat roll tirus untuk mendapatkan hasil produk yang lebih baik.
3. Dapat menghemat waktu dan bahan untuk pembuatan suatu produk.

### **1.6. Batasan Masalah**

Dalam penulisan Tugas Akhir ini terdapat beberapa pembatasan masalah yang akan diketengahkan, yaitu :

1. Pengerjaan dilakukan pada temperatur kamar
2. Material yang digunakan sebagai produk adalah pelat besi ss dengan tebal 5 mm.
3. Pembahasan hanya pada gaya-gaya yang terjadipada roll.
4. Tebal dan lebar pelat tidak mengalami reduksi.
5. Data sifat-sifat mekanis material benda kerja dan alat didapat dari studi kepustakaan.
6. Proses pengelasan untuk pembuatan alat dianggap aman.
7. Penggunaan alat roll disesuaikan dengan kondisi alat roll yang ada di Laboratorium D3 Teknik Mesin FTI-ITS.

### **1.7. Metodologi**

Untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini digunakan metodologi sebagai berikut :

1. Pengamatan lapangan





2. Studi perpustakaan.
3. Desain alat roll tirus
4. Perencanaan roll tirus.
5. memilih bahan produk.
6. Pembuatan roll tirus.
7. Kesimpulan.

## **1.8. Sistematika Penulisan**

### **BAB I. PENDAHULUAN**

Pada bab ini diuraikan latar belakang permasalahan yang dibahas, tujuan yang dicapai serta manfaatnya. Disamping itu diambil beberapa batasan masalah agar pembahasan terarah.

### **BAB II. TINJAUAN PUSTAKA**

Pada bab ini dibahas mengenai beberapa teori penunjang yang dapat dijadikan pijakan untuk membahas permasalahan tugas akhir ini.

### **BAB III. PROSES Pengerjaan**

Pada bab ini diuraikan gambaran tentang bagaimana proses pembentukan ladel tuang berbentuk tabung bertirus dengan proses roll bending.

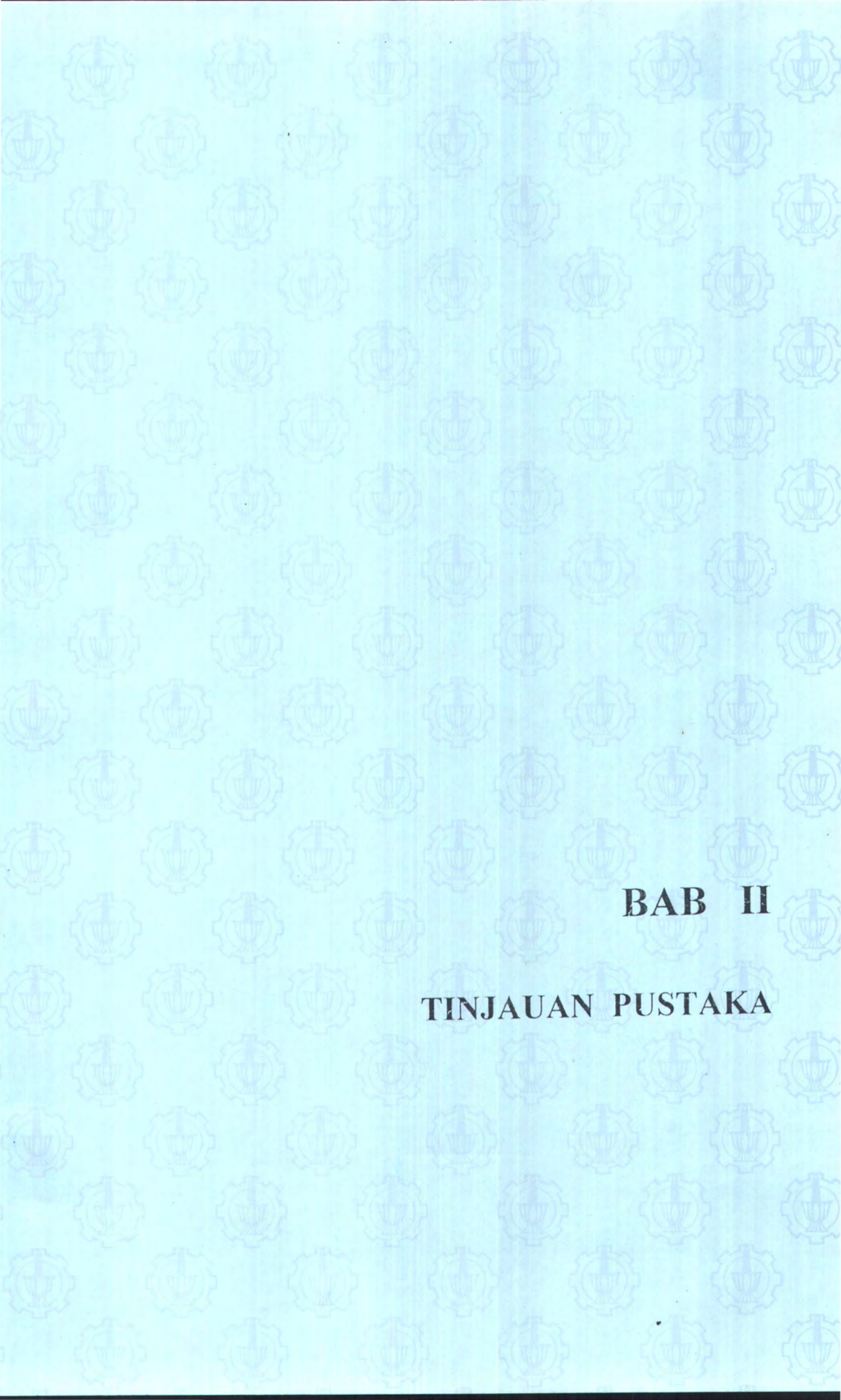
### **BAB IV. PERENCANAAN ROLL**

Pada bab ini diuraikan mengenai gaya-gaya yang terjadi pada proses roll serta hal-hal yang mendukung dalam pembuatan produk dengan rancangan alat roll tirus.

### **BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN**

### **DAFTAR PUSTAKA**

### **LAMPIRAN**



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**





## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Tinjauan Umum**

Pada teori pembentukan logam memiliki sasaran utama untuk memperkirakan besar deformasi dari logam dan besarnya beban yang diperlukan untuk pengerjaannya. Tujuan dari perkiraan beban kerja dan evaluasi akibat perubahan-perubahan dari parameter-parameter dalam proses seperti : proses rolling, proses bending, dan lain-lainnya, adalah untuk memanfaatkan secara tepat kemampuan mesin/alat agar dicapai produktifitas maksimum.

Pada umumnya alat roll terdiri dari roll bagian atas dan roll bagian bawah yang digunakan untuk melakukan proses penekanan yang nantinya akan menghasilkan suatu produk yang diinginkan. Secara rinci bagian-bagian alat roll ini akan dibahas pada bagian tersendiri.

Sedangkan ciri-ciri secara umum produk alat roll ini adalah mempunyai jari-jari kelengkungan yang diinginkan dan seragam, tentunya dengan melalui beberapa tahapan proses roll yang di operasikan secara berkala.

#### **2.2. Klasifikasi Proses Pembentukan Logam Berdasarkan Gaya Pembentukan**

Gaya pembentukan perlu ditinjau sebagai gaya-gaya yang menyebabkan terjadinya perubahan bentuk pada daerah deformasi atau lebih tepatnya bila ditinjau dari tegangan-tegangan yang bekerja pada daerah deformasi.



Klasifikasi proses pembentukan berdasarkan gaya pembentukan adalah sebagai berikut :

1. Pembentukan dengan tekanan

Yaitu pada daerah deformasi bekerja tegangan tekan.

Contoh : - Tempa (tempa).

- Pengerollan (rolling).

- Exstrusi (extrusion).

2. Pembentukan dengan tekanan dan tarikan

Tegangan yang bekerja pada daerah deformasi adalah tegangan tekan dan tarikan.

Contoh : - Penarikan kawat (wire drawing).

- Penarikan pipa (tube drawing).

- Penarikan dalam (deep drawing).

Gaya yang diberikan adalah gaya tarik yang menimbulkan gaya reaksi yang lebih besar, yaitu gaya tekan dari perkakas terhadap daerah deformasi.

3. Pembentukan dengan tarikan

Perubahan bentuk daerah deformasi disebabkan oleh tegangan tarik.

Contoh : - Ekspansi (ekspansi)

- Tarik regang

4. Pembentukan dengan tekukan

Penekukan mencakup pemakaian momen lengkung terhadap lembaran logam, yang merupakan proses mengubah bentuk-bentuk lurus menjadi lengkungan.

Untuk tekanan (pembengkokan) elastis di bawah elastis, regangan melalui pertengahan tebal pada sumbu netral dan pada tekukan plastis melalui batas elastis, sumbu netral bergeser lebih dekat kepermukaan dalam lengkukan pada saat proses tekukan dilakukan.





- Contoh : - Proses tekukan (bending)  
- deep drawing

5. Pembentukan dengan geseran

Perubahan bentuk disebabkan oleh geseran, baik yang disebabkan oleh gaya geser(gaya gunting) untuk memotong logam pada bidang geser maupun oleh gaya puntir.

Pada proses geseran atau penguntingan terjadi deformasi plastis, hingga terjadi retak awal. Retak awal kemudian merambat kedalam hingga terjadi pemisahan sempurna. Sedangkan gaya potong dapat di kurangi dengan membuat sudut kemiringan tertentu pada pinggiran perkakas sehingga logam dipotong bagian demi bagian.

- Contoh : - Proses penguntingan (Shearing)

**2.3. Deformasi Elastis dan Plastis**

Perubahan bentuk dapat dibagi menjadi dua yaitu deformasi elastis dan deformasi plastis. Deformasi elastis adalah perubahan yang terjadi bila gaya yang bekerja akan hilang jika bebannya dihilangkan. Dengan kata lain beban dihilangkan maka benda akan kembali seperti semula. Sedangkan deformasi plastis adalah perubahan bentuk yang permanen meskipun bebannya dihilangkan, maka benda tidak dapat kembali seperti semula.

Bila suatu material dibebani sampai daerah plastis, maka perubahan bentuk yang saat itu terjadi adalah gabungan-gabungan dari deformasi plastis dengan deformasi elastis (penjumlahan ini sering disebut deformasi total), bila beban ditiadakan, maka deformasi elastis akan hilang pula, sehingga perubahan bentuk yang ada hanyalah deformasi plastis saja.

Deformasi elastis dan deformasi plastis dapat ditunjukkan pada gambar 2.1.



Rumus matematis yang sering digunakan pada pengerjaan dingin mempunyai bentuk persamaan :

$$\sigma_o = K \varepsilon^{n^{[1]}}$$

Dimana:  $\sigma_o$  = tegangan alir

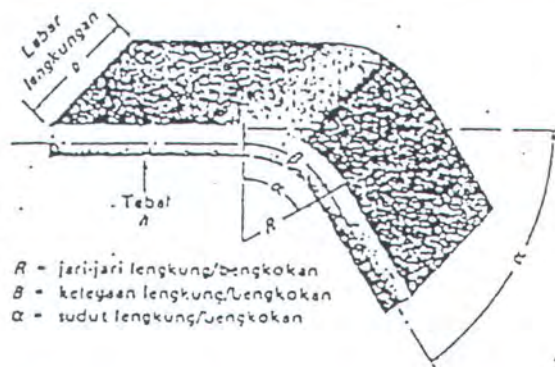
$K$  = Koefisien pengerasan tegangan

$n$  = Eksponen pengerasan tegangan

$\varepsilon$  = Regangan

## 2.5. Proses Bending

Bending merupakan proses yang mengubah bentuk lurus menjadi bentuk lengkung, secara umum bentuk bending dapat dilihat pada gambar



Gambar difinisi pada proses bengkok serta karakteristik dimensi.

Keterangan :

$R$  = Radius bending (mm)

$b$  = lebar bending (mm)

$h$  = Tebal material bending (mm)

$\alpha$  = Sudut bending (derajat)

Karena tegangan luluh dari logam untuk kompresi lebih besar di bandingkan dengan tegangan tarikan, maka logam pada sisi luar lengkungan akan mengalami luluh terlebih dahulu, sehingga proses sumbu netral tidak lagi mempunyai jarak yang sama terhadap kedua sisi pada bidang lengkung. Hal ini mengakibatkan pengecilan logam pada





bagian itu, karena aliran plastis pada sisi luar lengkung. Makin kecil R makin besar pengecilannya.

Tetapi jika perubahan tebal diabaikan, maka konvensional strain di sebelah luar (ea) dan sebelah dalam (eb) lengkungan adalah sama. Jadi :

$$ea = -eb = \frac{1^{[1]}}{\frac{2R}{h} + 1}$$

Minimum radius bending di indikasikan oleh kemampuan logam untuk melengkungkan tanpa mengalami retak dinyatakan sebesar :

$$R = 3 \times h$$

Secara umum radius bending..... $\geq \frac{1}{32}$  in

Untuk lembaran logam berkekuatan tinggi, R min ..5 kali tebal. R min dapat diketahui dengan teliti dari reduksi penampang yang berasal dari pengujian tarik (q). jika q lebih kecil dari 0,2 maka pergeseran pada sumbu netral diabaikan dan R min diberikan oleh persamaan :

$$\frac{R_{min}}{h} = \frac{1}{2q} - 1^{[1]}$$

Jika q lebih besar dari 0,2 maka pergeseran pada sumbu netral harus diperhitungkan dan jari-jari pembengkokan minimum dinyatakan sebagai berikut :

$$\frac{R_{min}}{h} = \frac{(1-q)^{2[1]}}{2q - q^2}$$

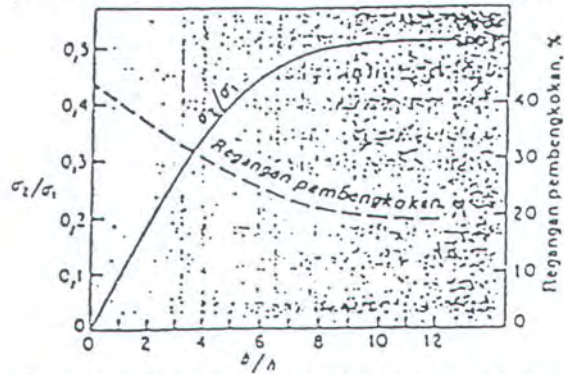


Keuletan serat-serat luar pada pembengkokan merupakan fungsi dari keadaan tegangan yang bekerja pada permukaan. Terjadinya kondisi tegangan dari dwi sumbu akan menurunkan keuletan logam. Perbandingan  $\frac{\tau^2}{\tau_1}$  , tegangan melintang terhadap tegangan melingkar akan bertambah besar dengan bertambahnya perbandingan lebar terhadap tebal b/h.

Gambar 2.5 menunjukkan bahwa nilai b/h yang rendah ke dwi sumbu juga rendah. Karena keadaan tegangan praktis bersifat tarik murni,



tetapi sejalan bertambahnya lebar (relatif terhadap tebal) perbandingan  $\tau^2/\tau^1$  meningkat hingga pada  $b/h = 8$ , ke dwi sumbu mencapai nilai jenuh sebesar 0,5.



Gambar Efek perbandingan lebar terhadap tebal ke dwi sumbu dan keuletan terhadap bengkok pada pembungkakan.

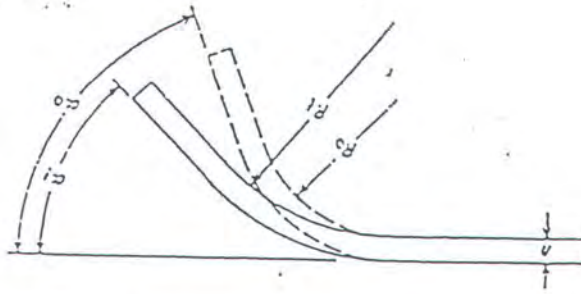
Regangan yang mengakibatkan patah pada pembungkakan bergantung terbalik antara perbandingan lebar-tebal. Pada pembungkakan lembaran dengan perbandingan tebal yang tinggi, rendah akan terjadi di dekat pertengahan lembaran, bila keuletan hilang. Akan tetapi jika pinggiran lembaran kasar maka akan terjadi retak pada pinggir.

Selain retakan pada permukaan tarik, kesulitan lain pada proses bending adalah balikan pegas. Balikan pegas (spring back) adalah perubahan dimensi pada hasil pembungkakan setelah pembungkakan diiadakan. Perubahan ini akibat dari perubahan regangan yang dihasilkan oleh pemulihan elastis.

Bila beban dihilangkan, regangan total akan berkurang disebabkan oleh terjadinya pemulihan elastis. Akan makin besar jika tegangan luluh semakin tinggi atau modulus elastis lebih rendah dan regangan plastis makin besar. Untuk bahan regangan tertentu, balikan pegas akan bertambah besar dengan perbandingan antara dimensi literal dan tebalnya.

Balikan pegas terdapat pada semua proses pembentukan, tetapi pada pembungkakan paling mudah diamati dan dikaji, gambar sebagai berikut :





Gambar spring back pada bending.

Jari-jari kelengkungan sebelum beban dihilangkan  $R_o$  lebih kecil dibandingkan setelah beban dihilangkan  $R_f$ . Tetapi kemampuan bending adalah sama sebelum dan sesudah pembendungan, sehingga :

$$B = (R_o + h/2)\alpha_o = (R_f + h/2)\alpha_f^{[1]}$$

Jadi rasio spring back,  $K_s = \alpha_f/\alpha_o$  yang diberikan oleh :

$$K_s = \frac{\alpha_f}{\alpha_o} = \frac{R_o + h/2}{R_f + h/2} = \frac{2R_o/h + 1}{2R_f/h + 1}^{[1]}$$

Perbandingan spring back yang didefinisikan dengan cara tersebut tidak tergantung pada tebal lembaran dan hanya tergantung pada perbandingan antara jari-jari bending dengan tebal lembaran.

Daerah elastis akan lebih luas bila  $R_o/h$  besar dan tegangan elastis akan makin besar untuk material dengan tegangan luluh yang tinggi sedang modulus elastisitas rendah. Oleh karena itu spring back juga naik menurut rumus estimasi sebagai berikut :

$$\frac{R_o}{R_f} = 4 \left[ \frac{R_o \cdot \tau}{E \cdot h} \right]^3 - 3 \left[ \frac{R_o}{E \cdot h} \right] + 1^{[1]}$$

Metode yang lazim digunakan untuk kompensasi balikan pegas adalah dengan jari-jari bending lebih kecil dari yang diinginkan sehingga ketika terjadi spring back, bagian tersebut masih mempunyai jari-jari yang tepat sesuai dengan yang diinginkan.

Spring back juga bisa diatasi dengan cara lain seperti :

1. Over bending.
2. Pembebanan berlebih.
3. Menahan tegangan didaerah lengkungan selama proses.





Dalam proses bending untuk mempermudah dalam perhitungan-perhitungan, maka diberikan asumsi-asumsi sebagai berikut :

1. Tebal dan lebar pelat adalah uniform.
2. Lebar pelat dibandingkan dengan tebal pelat adalah tidak terbatas, sehingga tidak terjadi deformasi sisi.
3. Pelat homogen serta tidak ada residual stress sebelum proses bending.
4. Tegangan kearah sumbu Y dan Z diabaikan.
5. Tebal pelat, panjang dan lebar pelat dianggap konstan selama proses bending dan sumbu netral terletak tepat ditengah-tengah.
6. perubahan atau deformasi yang terjadi hanyalah perubahan bentuk saja.

## **2.6. Syarat-syarat kerja dalam proses bending**

Dalam melakukan proses bending, pelengkungan dengan mesin roll atau proses roll bending harus memperhatikan beberapa hal untuk menghindari cacat produk ataupun kegagalan proses.

Adapun hal-hal yang harus diperhatikan antara lain :

1. Untuk menghindari kesalahan pelengkungan, perilaku bahan garapan (benda kerja) dalam hal kemampuan regang, tebal benda kerja, bentuk penampang dan sudut lenturan harus diperkirakan benar-benar sebelum pelengkungan (proses roll bending).
2. Penggoresan sedapat mungkin dihindarkan, terutama bagian yang akan dilengkungkan, atau jangan sekali-kali digoreskan pada sisi tarikan pelengkungan.
3. Perhatikan bahwa goresan yang terlalu dalam pada permukaan benda kerja sangat mengganggu keuletan lokasi pembengkokan.
4. Perbandingan sedapat mungkin dilakukan dengan penekanan merata.
5. Pengerollan yang terlalu kuat dapat mengakibatkan perubahan bentuk dari struktur bagian yang di bending (tekanan dan gaya mesin harus sesuai dengan material benda kerja).



6. Semakin elastis bahan semakin tajam sudut bendingnya dan dapat semakin kecil jari-jari bendingnya.
7. Harus diperhatikan bahwa untuk merancang bagian pelengkungan selalu bagian dalam pelengkunganlah yang menentukan karena letak kontak perkakas yang memberikan bentuk.

## 2.7. Gaya pengerollan

Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam perencanaan dan sebagai perhitungan adalah :

1. Gaya pengerolan (F)

$$F \cdot l = \text{Joule} = N \cdot m$$

Keterangan :

F = Gaya pengerolan (N)

l = Panjang roll penggiling (m)

2. Torsi (T)

$$T = \frac{(\mu \cdot F \cdot D)}{4}$$

Keterangan :

T = Torsi (N.m)

F = Gaya pengerolan(N)

D = Diameter roll penggiling (m)

$\mu$  = Koefisien gesek

## 2.1. Roda Gigi ( Gear )

Roda gigi adalah elemen mesin yang berfungsi untuk mentransmisikan daya dan putaran. Ada empat Jenis roda gigi yang mempunyai kelebihan sendiri-sendiri. Pada pemilihan roda gigi terdapat beberapa syarat yang harus diper hatikan diantaranya adalah posisi poros, kecepatan sudut(putaran yang ditransmisikan, rasio kecepatan, dan bahan material roda gigi. Data awal yangharus adalah pada perencananaan roda gigi adalah :





1. Daya rencana yang dipakai
2. Diameter roda gigi pinion dan gear.
3. Putaran yang dipindahkan oleh roda gigi.

Data yang diperoleh dalam perencanaan roda gigi adalah :

1. Lebar gigi (b).
2. Diametral pitch(p) dimana  $\frac{9}{P} \leq b \leq \frac{13}{P}$
3. Bahan roda gigi ( $S_{yp} \geq$  Tegangan ijin roda gigi)
4. Addendum
5. Dedendum
6. Clearance
7. Working depth
8. Whole depth

Setelah perencanaan selesai kemudian dicek dengan beberapa metode yaitu metode Lewis atau metode AGMA. Syarat pengecekan roda gigi dengan metode lewis adalah :

$$Fb = SxbX \frac{Y}{P}$$

dimana : Fb = Beban ijin berdasarkan bending.

S =Tegangan tarik material.

B = Lebar gigi.

P =Diameter pitch

Y = Faktor lewis dipwrolwh dari tabel Lewis.

## 2.9. Poros

Poros merupakan suatu bagian yang terpenting dari setiap mesin. Hampir semua mesin meneruskan daya bersama-sama dengan putaran. Peran utama dari transmisi tersebut poroslah yang mempunyai peran terpenting.

Poros diklasifikasikan berdasarkan berdasarkan pembebanannya, sebagai berikut :

1. Poros transmisi





Poros semacam ini mendapatkan beban puntir murni atau lentur. Daya yang ditransmisikan kepada poros melalui kopling, roda gigi, sabuk dan belt, sproket dan rantai.

2. Spindel

Poros transmisi yang relatif pendek, seperti poros utama mesin perkakas, dimana poros semacam ini mendapatkan beban utama berupa puntiran, disebut spindel. Poros transmisi ini relatif pendek, seperti poros utama mesin perkakas. Syarat yang harus dipenuhi poros ini adalah deformasinya harus kecil dan bentuk ukurannya harus teliti.

3. Gandar

Poros semacam ini tidak mendapatkan beban puntir, bahkan kadang-kadang tidak boleh berputar, disebut gandar. Gandar hanya mendapatkan beban lentur kecuali bila digerakkan oleh penggerak mula, dimana akan mengalami beban puntir juga. Poros semacam ini biasanya dipasang diantara roda-roda kereta barang.

Menurut bentuknya poros dibedakan atas :

- a. Poros lurus umum
- b. Poros engkol sebagai poros utama dari mesin torak
- c. Poros luwes untuk transmisi kecil

Pada pembahasan kali ini, mesin pengerol melinjo menggunakan poros lurus umum, dimana beban yang diterima adalah beban puntir dan lentur.

Adapun perhitungan-perhitungan dibahas sebagai berikut :

1. Daya yang ditransmisikan ( $P$ ) dan putaran poros ( $n$ )
2. Faktor koreksi ( $f_c$ )
3. Daya rencana ( $P_d$ )
5. Keadaan beban digambarkan
6. Perhitungan beban vertikal dan horizontal
7. gaya reaksi engsel



8.gambar bidang momen lentur pada poros

9.Momen lentur gabungan

10.Bahan dan dimensi poros serta faktor keamanan ( $Sf_1$ ,  $Sf_2$ )

11.Tegangan lentur yang diijinkan ( $\tau_a$ )

$$\tau_a = \frac{\sigma_B}{Sf_1.Sf_2}$$

Keterangan :

$\tau_a$  = Tegangan lentur ijin ( $Kg/mm^2$ )

$\sigma_B$  = Kekuatn tarik bahan ( $Kg/mm^2$ )

$Sf$  = Faktor keamanan

12.Faktor koreksi ( $Km$ ) dan ( $Kt$ )

13.Diameter poros minimal( $ds$ )

$$ds = \left[ \left( \frac{5,1}{\tau_a} \right) \sqrt{Km.Kt.T} \right]^{\frac{1}{3}}$$

Keterangan:

$ds$  = Diameter poros minimal (mm)

$\tau_a$  = Tegangan lentur ijin ( $Kg/mm^2$ )

$Km$  = Faktor koreksi

$Kt$  = Faktor Koreksi

$T$  = Momen rencana ( $Kg/mm$ )

14.Tegangan maksimal yang terjadi pada poros ( $\tau_{max}$ )

$$\tau_{max} = \left[ \left( \frac{5,1}{d} \right) \sqrt{(Km.m)^2 + (Kt.T)^2} \right]$$

Keterangan :

$\tau_{max}$  = Tegangan maksimal ( $Kg/mm^2$ )

$d$  = Diameter yang digunakan (mm)

$Km$  = Faktor koreksi

$Kt$  = Faktor koreksi



M = Modul

T = Momen rencana (Kg/mm)

### 15. Tegangan ijin poros

Poros akan aman jika

$$\frac{0,5S_{sys}}{N} > \tau_{max}$$

Agar dalam perencanaan suatu poros diketahui dalam kondisi aman, maka perlu diperhatikan tegangan geser maksimumnya.

Dimana

$$\tau_{Mak} \leq \frac{S_{syp}}{N}$$

$$\text{dan } \tau_{Mak} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x}{2}\right)^2 + \tau}$$

$$\sigma_x = \frac{32M_B}{\pi D^3}$$

$$\tau = \frac{16T}{\pi D^3}$$

Sehingga tegangan maksimal untuk poros pejal adalah :

$$\tau_{Mak} = \sqrt{\left(\frac{16M_B}{\pi D^3}\right)^2 + \left(\frac{16T}{\pi D^3}\right)^2} \leq 0,58S_{yp}$$

### 2.10. Bantalan ( Bearing )

Bantalan adalah elemen mesin yang mampu menumpu poros yang mempunyai beban, sehingga putaran atau gerakan bolak-baliknya dapat berlangsung secara halus, aman dan berumur panjang. Untuk memungkinkan poros serta elem mesin lainnya bekerja dengan baik maka dalam pemilihan bantalan haruslah tepat agar cukup kokoh dan bekerja dengan baik. Jika bantalan tidak bekerja dengan baik maka prestasi seluruh sistem akan menurun atau tidak dapat bekerja dengan semestinya. Bantalan dapat diklasifikasikan sebagai berikut :





1. Menurut gerakan bantalan terhadap poros

a. Bantalan luncur

Pada bantalan ini terjadi gesekan luncur antara poros dan gesekan, karena permukaan poros ditumpu oleh permukaan bantalan dengan perantara lapisan pelumas.

Macam-macam bantalan luncur:

1. Bantalan radial polos.
2. bantalan radial berkerah.
3. Bantalan aksial berkerah.
4. Bantalan aksial.
5. Bantalan radial ujung.
6. Bantalan radial tengah.

b. Bantalan gelinding

Pada bantalan ini terjadi gesekan gelinding antara bagian yang berputar dengan yang diam melalui elemen gelinding.

2. Menurut arah beban terhadap poros

a. Bantalan radial

Arah beban yang ditumpu dengan bantalan ini adalah tegak lurus sumbu poros. Bantalan ini dapat berbentuk silinder, belahan silinder, elips dan lain-lain.

b. Bantalan aksial

Arah beban bantalan ini sejajar dengan sumbu poros. Bantalan ini dapat berbentuk engsel, kerah, michel, dan lain-lain.

c. Bantalan gelinding khusus

Bantalan ini dapat menumpu beban yang arahnya sejajar dan tegak lurus dengan arah sumbu poros. Bantalan ini dapat berbentuk bola.

Adapun perhitungan-perhitungan yang akan dibahas:

1. Gaya-gaya yang bekerja pada bantalan.



Gaya-gaya ini didapat dari perhitungan poros yang sebelumnya.

2. Gaya radial yang bekerja pada bantalan (Fr).

$$Fr = \sqrt{(Rav^2 + Rah^2)}$$

Keterangan :

Fr = Gaya radial yang bekerja pada bantalan ( $L_b$ )

Rav = Rah = resultan gaya yang didapat dari perhitungan poros

3. Pemilihan bantalan yang akan dipergunakan.

4. Beban ekuivalen (P)

$$P = v \cdot Fr$$

Keterangan :

P = Beban ekuivalen (lb)

v = Faktor putaran

Fr = Gaya radial (lb)

5. Umur bantalan ( $L_{10}$ )

$$L_{10} = \frac{10^6}{60 \cdot n} \left( \frac{C}{P} \right)^b$$

Keterangan :

$L_{10}$  = Umur bantalan (Jam )

C = Beban dinamis (lb)

P = Beban ekuivalen (lb)

n = Putaran poros (rpm)

b = konstanta

Dalam pemilihan bantalan gelinding ini, umur bantalan sangat perlu diperhatikan yang juga didasarkan pada beban yang diterimanya.

Sedangkan umur dari bantalan dapat dicari dengan persamaan :

$$L_{10} = \left( \frac{C}{P} \right)^p \times \frac{10^6}{60n}$$

Dimana :  $L_{10}$  = umur bantalan ( jam kerja )

C = beban dinamis



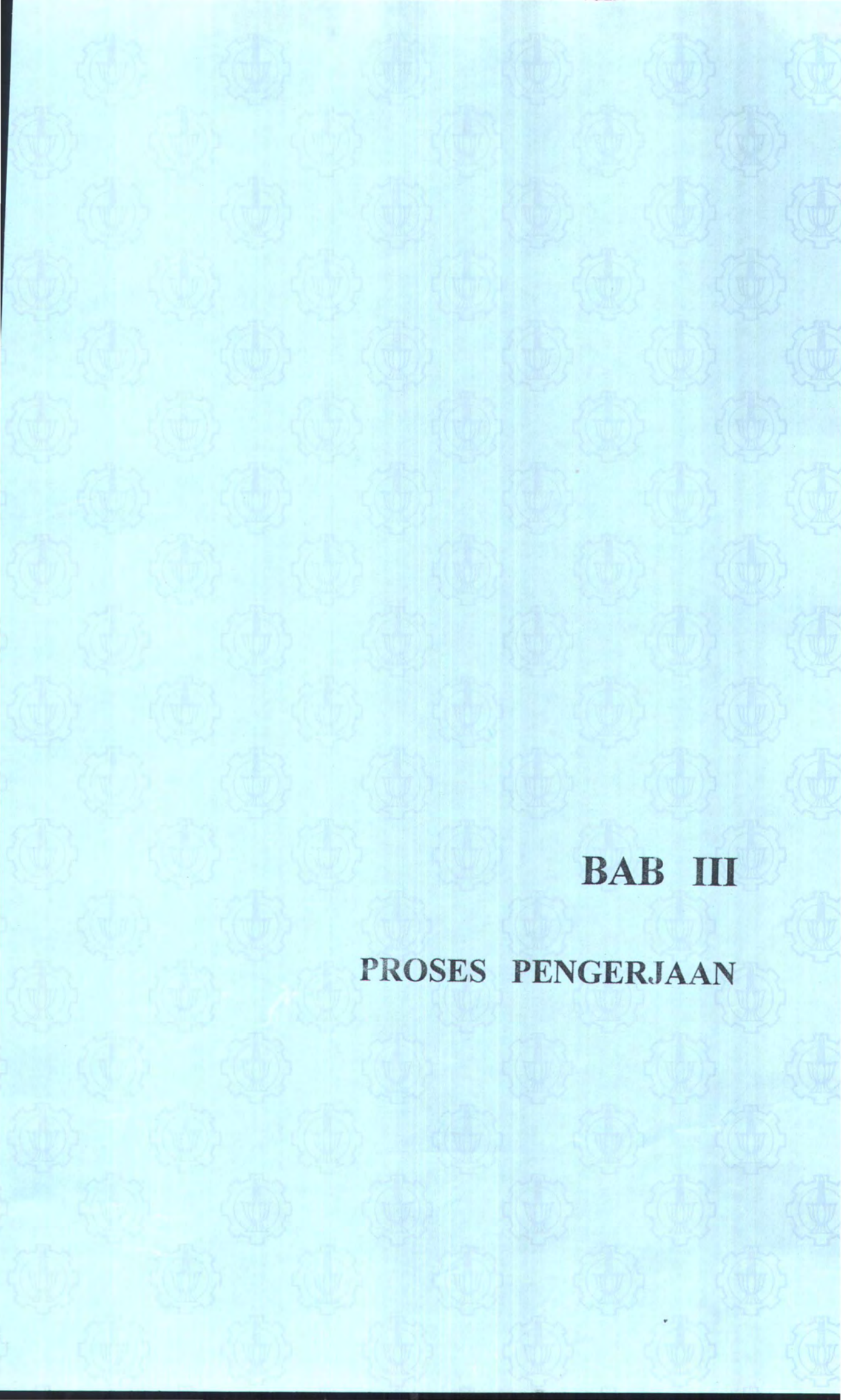
P = beban ekivalen  
P = 3 untuk bantalan bola  
10/3 untuk bantalan roll

Sedangkan :

$$P = X F_r + Y F_a$$

Dimana : X = konstata radial  
Y = konstata aksial  
F<sub>r</sub> = beban radial  
F<sub>a</sub> = beban aksial





## **BAB III**

### **PROSES Pengerjaan**



### BAB III PROSES Pengerjaan

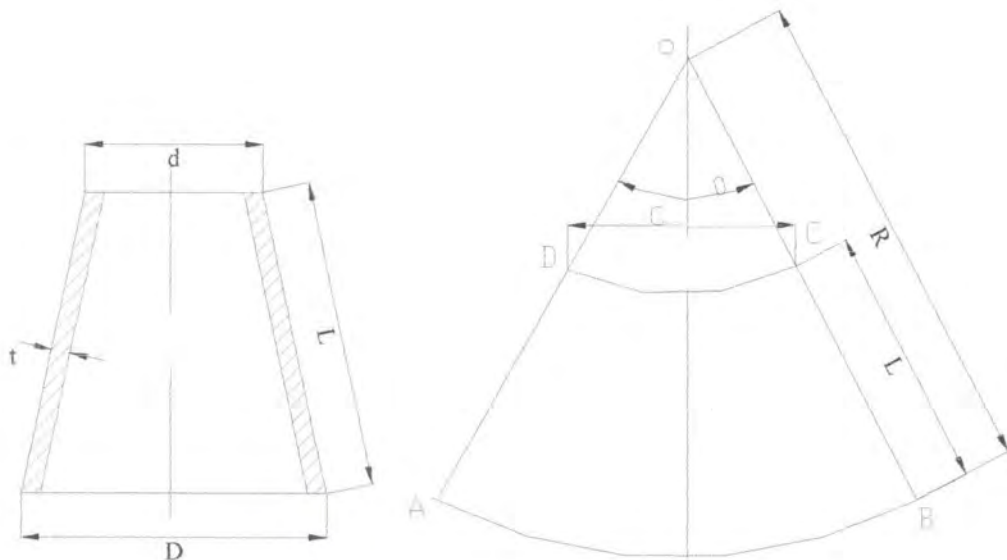
#### 3.1. TINJAUAN UMUM

Ada beberapa hal yang harus dilakukan di dalam proses perencanaan pembuatan suatu produk. Hal tersebut adalah pengamatan terhadap bentuk yang akan dibuat, fungsi produk dan langkah-langkah pembuatan yang dikerjakan dengan proses roll (dengan alat roll tirus).

##### 3.1.1. BAHAN PRODUK

Bahan produk berupa pelat strip yang terbuat dari besi ss dengan kekuatan tarik maksimum ( $\sigma_{maks}$ ) 52 kg/mm<sup>2</sup>.

##### 3.1.2. BENTUK DAN DIMENSI PRODUK



Gambar 3.1 dimensi Produk





### 3.1.3. MANFAAT PRODUK

Manfaat dari produk (cawan tuang) ini adalah sebagai alat penuang logam cair (tembaga) untuk proses pengecoran.

### 3.2. TAHAPAN PROSES

Pembuatan cawan tuang ini terdiri dari 2 tahapan proses. Langkah awal pada pembuatan produk secara garis besar, adalah pemotongan raw material untuk mendapatkan strip material. Selanjutnya adalah melaksanakan proses pengerollan yang tentunya dilakukan secara berkala. Adapun Tahapan proses tersebut dijelaskan sebagai berikut :

#### ❖ Proses tahap I

Dimana pada tahapan awal ini raw material dipotong-potong menjadi strip. Panjang dan lebar strip perlu diperhatikan sehingga pada proses selanjutnya tidak banyak mengalami proses/treatment tambahan dan dapat menghemat material.



Gambar 3.2 Pelat Strip

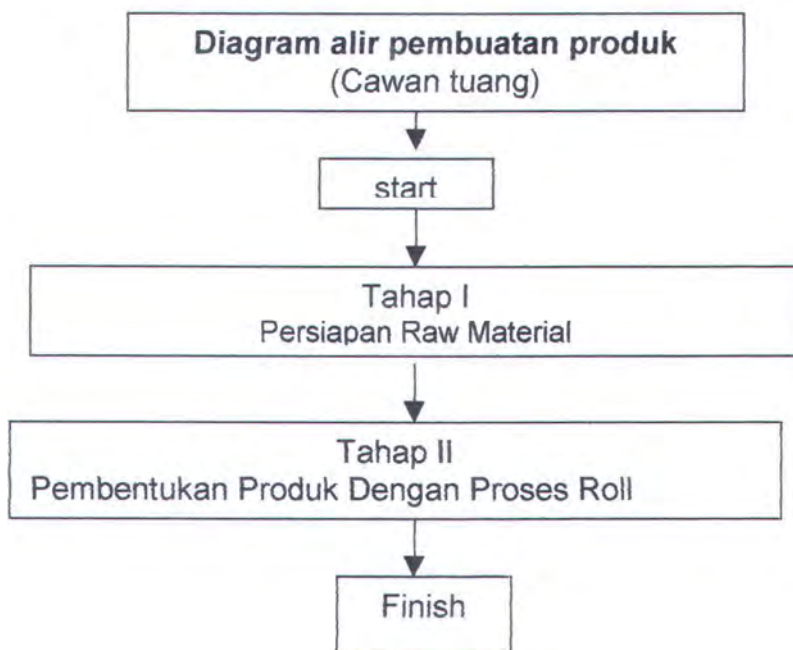


❖ Proses tahap II

Pada tahap ini dilakukan pengerjaan proses pengerollan, adapun tahapan pengerjaannya sebagai berikut :

1. Poros ulir diatur untuk menggerakkan roll bagian atas, pengaturan roll tersebut harus memperhatikan syarat-syarat kerja proses bending (2.6) sehingga kedudukan roll bagian atas tidak terlalu dalam menekan pelat.
2. Kemudian tuas tranmisi yang dihubungkan dengan roll bagian bawah siap untuk dioperasikan dengan kata lain proses pengerollan pelat dijalankan sampai merata.
3. Tahapan tersebut dilakukan beberapa kali dengan perubahan roll bagian atas yang berubah secara berkala untuk mendapatkan jari-jari kelengkungan produk yang diinginkan. kemudian produk dikeluarkan dengan melepas bagian atas roll yang memang didisain/dirancang dengan system cknot down/bongkar pasang untuk kemudahan pengambilan produk.

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada flow chart proses pembentukan.







### **3.3. PEMBUATAN ALAT ROLL TIRUS**

#### **3.3.1. Roll Tirus**

Roll tirus yang dibuat sebanyak tiga buah diatur dengan kedudukan piramid, yaitu satu buah pada roll bagian atas dan dua buah pada roll bagian bawah. Bahan roll dari besi pejal dengan ukuran  $\varnothing$  150 mm X 300 mm X  $\varnothing$  80mm dan diameter dalam 30mm untuk poros. mendapatkan roll yang sesuai desain tersebut maka dikenai proses pengerjaan dengan mesin bubut dan mesin drill.

#### **3.3.2. Pengatur Bending**

Pengatur bending ini merupakan poros berulir yang dihubungkan dengan roll bagian atas untuk menggerakkan roll bagian atas bergerak vertikal sehingga dapat mengubah jarak antara roll atas dan roll bawah. Skala ukuran untuk menggerakkan roll tersebut menempel pada rangka roll.

#### **3.3.3. Rangka Roll**

Rangka roll ini di desain/rancang dengan sistem cknot down yang terdiri dua bagian yaitu atas dan bawah. Adapun dimensi dan ukuran dapat dijelaskan pada gambar dibawah ini. Pada rancangan tersebut pelat rangkai yang memiliki ukuran awal 600mm X 350mm X 15mm itu mengalami beberapa proses pengerjaan diantaranya adalah proses pemotongan, proses pengelasan, proses milling dan proses drill.

#### **3.3.4. Roda Gigi**

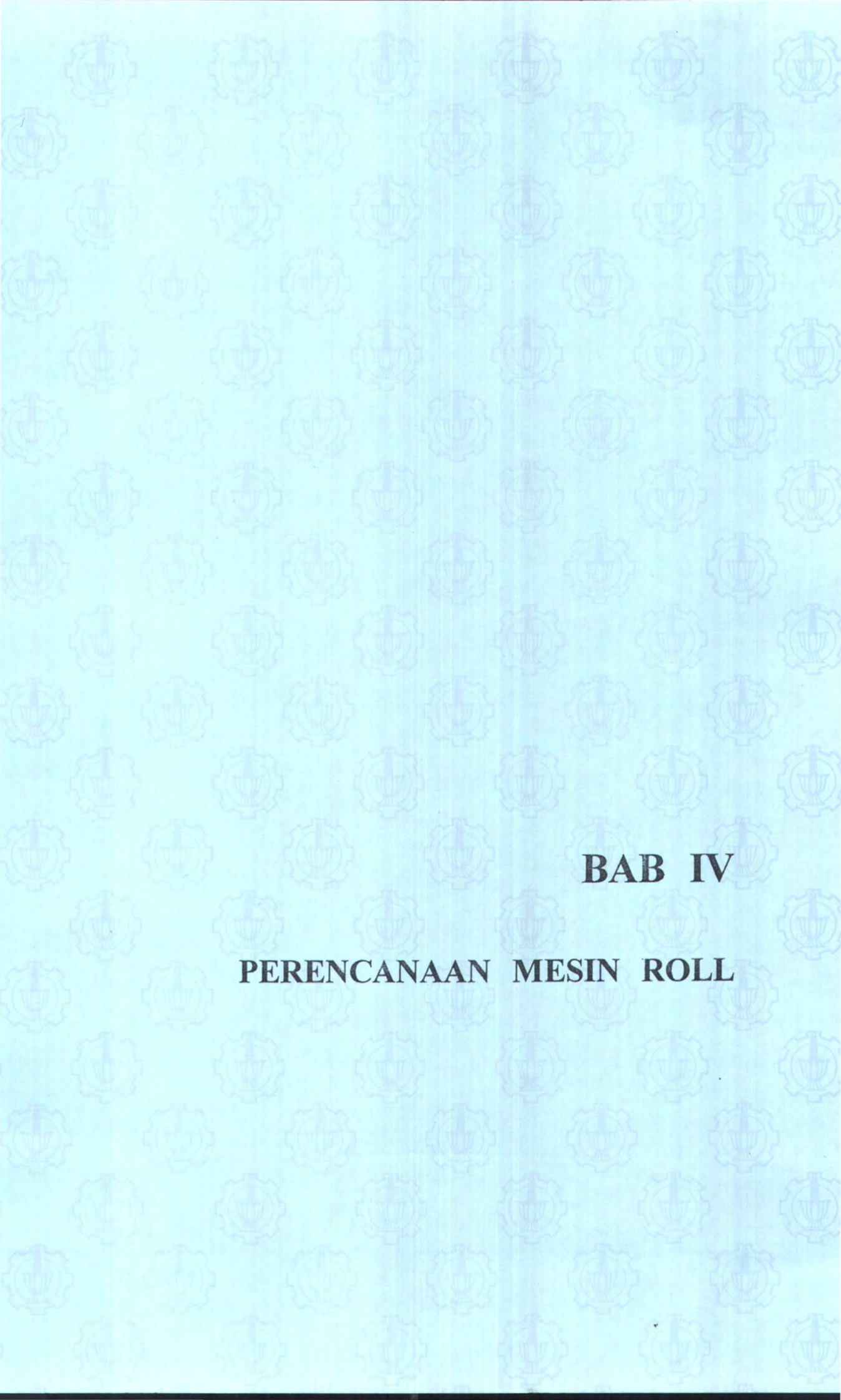
Roda gigi pada alat roll tirus ini adalah roda gigi lurus yang terdiri dari pinion dan gear. Gear tersebut dihubungkan dengan roll bagian bawah sedangkan pinion dihubungkan dengan tuas pemutar. Ukuran diameter luar gear 140mm dan diameter dalam 120mm sedangkan diameter luar pinion 80mm dan diameter dalam 60mm.





### **3.3.5. Poros**

Poros pada alat ini berfungsi untuk menghubungkan roll dengan roda gigi memiliki ukuran  $\varnothing$  30mm dan panjang 600mm sedangkan yang menghubungkan roll atas dengan rangka memiliki panjang 500mm. Pada masing-masing poros dipasang bearing/bantalan yang ditempatkan pada rangka roll.



## **BAB IV**

### **PERENCANAAN MESIN ROLL**

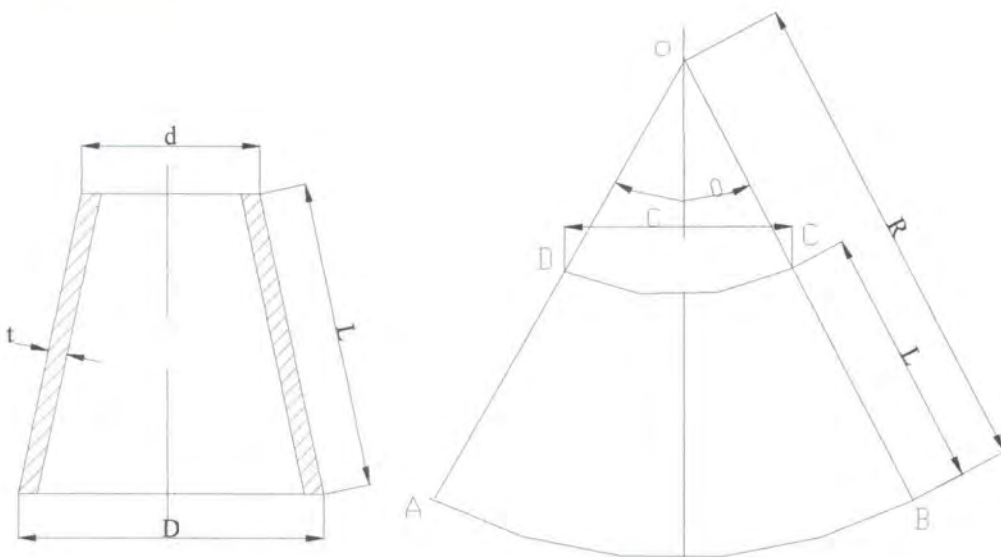


## BAB IV

### PERENCANAAN MESIN ROLL

#### 4.1. Perencanaan Roll

Roll ini dirancang untuk membuat benda kerja berbentuk kerucut, maka benda kerja harus dibuat untuk memenuhi bentuk kerucut. Seperti pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Bentangan rancangan plat roll.

Dari gambar 4.1 dapat dianalisa :

$$\text{Panjang busur DC (keliling tutup kerucut)} = \pi d$$

$$\text{Panjang busur AB (keliling alas kerucut)} = \pi D$$

Sudut  $\theta$  diperoleh dari perbandingan busur lingkaran dengan busur juring bersudut  $\theta$ , karena jika radius  $R$  diputar penuh akan membentuk lingkaran penuh, sehingga besarnya  $\theta$  adalah :

$$\text{Keliling lingkaran} = 2 \cdot \pi \cdot R$$

$$\text{Busur AB} = \pi \cdot D$$





Maka ;

$$\pi \cdot D = \frac{\theta}{360} \cdot 2\pi R$$

$$\theta = \frac{D \times 360^\circ}{2R} \dots \dots \dots (3.1)$$

Sedangkan panjang

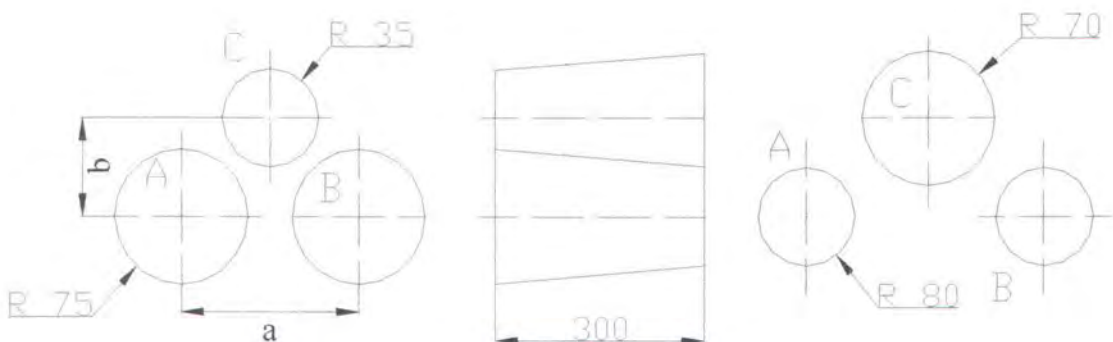
$$DC = 2 \times (R-L) \sin \frac{\theta}{2} \dots \dots \dots (3.2)$$

$$\frac{R-L}{R} = \frac{DC}{AB} ; R - \frac{DC \times R}{AB} = L ; R \cdot \left(1 - \frac{DC}{AB}\right) = L$$

$$R = \frac{L}{\left(1 - \frac{DC}{AB}\right)} \dots \dots \dots (3.3)$$

Menentukan jarak sumbu roll

Roll dirancang berbentuk tirus dengan 2 roll tetap dan satu roll penekan kearah vertikal. 2 roll tetap berputar dengan kecepatan sudut berlawanan arah yang digerakkan oleh roda gigi. Roll dirancang seperti gambar 4.2.



Gambar 4.2 rancangan dasar roll.

Karena radius minimum benda kerja direncanakan adalah  $r = d/2 = 35 \text{ mm}$  dan  $R = D/2 = 140/2 = 70 \text{ mm}$ , tebal plat maksimal adalah  $t = 5 \text{ mm}$ , maka



minimum bending radius diindikasikan sebagai kemampuan logam untuk di lengkungkan tanpa retak :

$$r_{\min} = 3 \times \text{tebal plat}$$

$$r_{\min} = 3 \times 5 \text{ mm} = 15 \text{ mm}$$

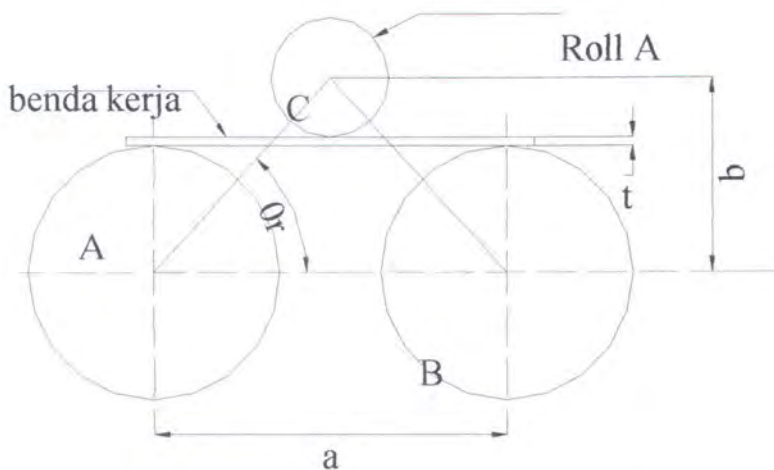
$$r_{\min} \text{ rencana} = d/2 = 35 \text{ mm}$$

Untuk membentuk material kerja dengan minimum untuk tirus = 35 mm.

Maka, jarak pusat roll A dan B adalah :

$$\bar{a} < \bar{c} ; \bar{c} = \text{Panjang } \overline{DC}$$

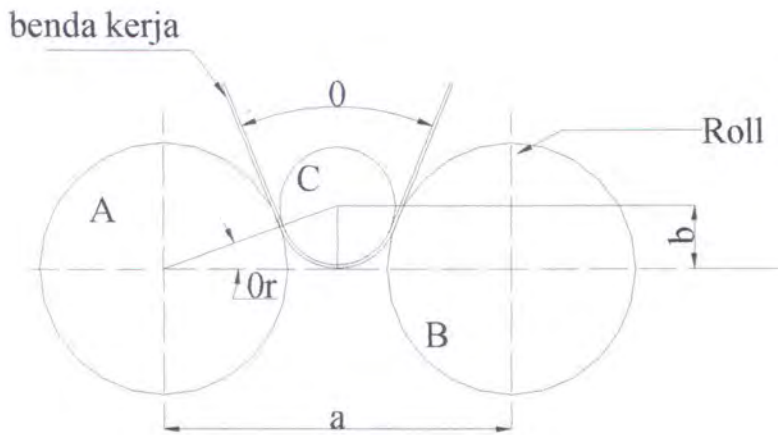
Karena jika  $\bar{a} \geq \bar{c}$  maka material dikhawatirkan slip (tanpa tumpuan), sehingga dalam kondisi normal roll tampak seperti gambar 3.4.



Gambar 4.2 Roll dalam kondisi normal



Sedangkan posisi roll saat bekerja adalah posisi roll C turun ke bawah sejauh  $bd$ . Seperti pada gambar .4.3.



Gambar 4.3. Posisi roll bekerja maksimal.

Pada saat roll berada di posisi paling bawah diharapkan plat benda kerja masih terjepit oleh ketiga roll tersebut. Sehingga, jika

$$\bar{C}_{\min} = 2 \times (R - L) \sin \frac{\theta}{2}$$

dimana :

$$\theta = \frac{140 \times 360}{2R}$$

$$R = \frac{302}{\left(1 + \frac{\pi \cdot 70}{\pi \cdot 140}\right)} = 604 \text{ mm}$$

$$\theta = \frac{140 \times 360^\circ}{2 \times 604} = 42^\circ$$



Sehingga

$$\bar{C}_{\min} = 2 \times (604 - 302) \sin \frac{42}{2}$$

$$\bar{C}_{\min} = 216,5 \text{ mm}$$

Diambil  $a = 210 \text{ mm}$





Sedangkan tinggi  $b$  pada kondisi normal adalah

$$b = r_B + t + r_C$$

$$b = 75 \text{ mm} + 5 \text{ mm} + 35 \text{ mm}$$

$$b = 115 \text{ mm.}$$

Posisi  $b_{\min}$  adalah

$$b = \sqrt{110^2 - 105^2}$$

$$b = \sqrt{1075}$$

$$b = 32,78 \text{ mm}$$

Sudut  $\theta_R$  pada kondisi normal adalah

$$\text{tg } \theta_{R \min} = \frac{115}{105} = 1,095$$

$$\text{arc tg } 1,1 = \theta = 47,6^\circ$$

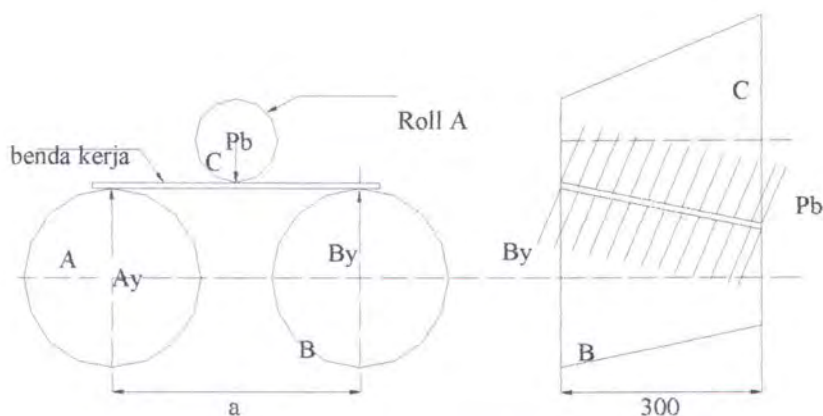
Sudut  $\theta_R$  pada kondisi minimum adalah

$$\text{tg } \theta_{R \min} = \frac{32,78}{105} = 0,3$$

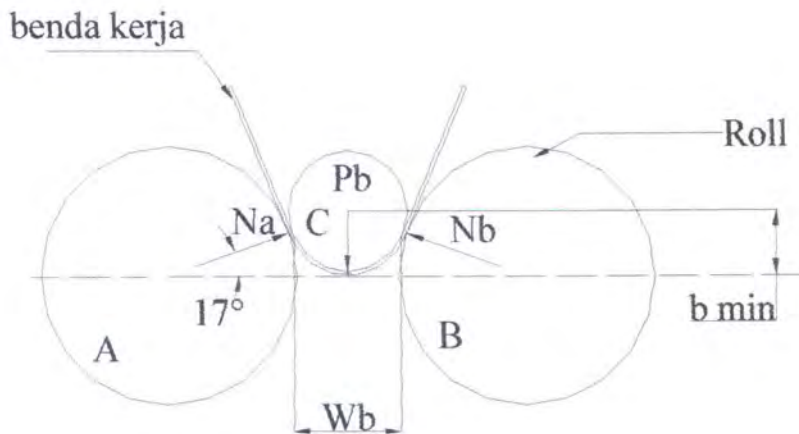
$$\theta_{R \min} = 17^\circ$$

Sedangkan sudut  $\theta$  adalah  $2 \times \theta_{R \min}$  (sudut bending minimal pada saat  $b_{\min}$ ) Seperti pada gambar 4.3.

Analisa gaya pada Roll.



Gambar 4.4. distribusi gaya pada posisi normal.



Gambar 4.5 distribusi gaya pada saat b minimum.

Dengan menggunakan rumus Schey besarnya  $P_b$  adalah :

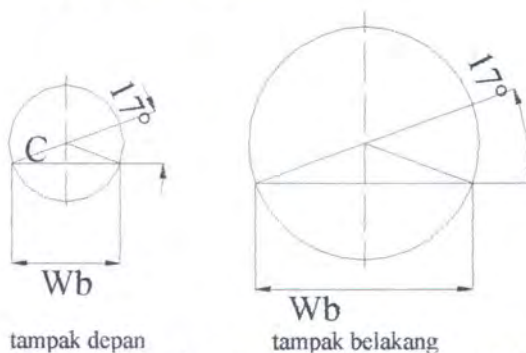
$$P_b = \frac{Lh^2 UTS}{Wb}$$

Pelat material benda kerja dipilih sesuai dengan kebutuhan yaitu untuk wadah atau cawan penuangan logam cair. Maka dipilih material Stainless Steel (18 – 8) cold rolled, adapun data yang diperoleh adalah  $UTS = 90 \text{ Ksi}$ ;  $E = 28 \cdot 10^6 \text{ Psi}$ ;  $\rho = 0,286 \text{ lb / in}^3$ ;  $Sc = 100 \text{ Ksi}$ ;  $S_{\text{shear}} = 25 \text{ Ksi}$ .

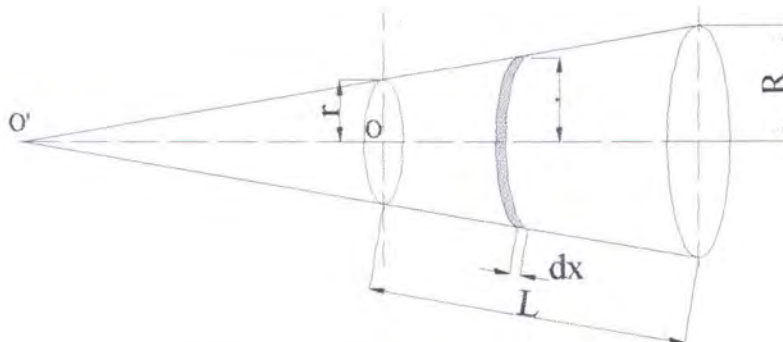
Sedangkan harga  $W_b$  ( lebar bentangan die dalam hal ini bentangan roll C pada b minimum ) adalah :

tinjauan roll C

$$W_b = 2\rho \cos \theta ; \quad W_b = 2\rho \cos 17^\circ$$



Gambar. 4.6. Lebar  $W_b$  pada roll C.



Gambar. 4.6 Kerucut tiga dimensi.

Dari gambar 4.6 maka radius  $\rho$  dapat diekspresikan terhadap fungsi  $x$  menjadi :

$$\rho = r + \frac{R-r}{L} x$$

Subtitusikan nilai  $\rho$  ke  $P_b$ , maka didapat

$$P_b = \frac{UTS \cdot h^2 dx}{2 \left( r + \frac{R-r}{L} x \right) \cos \theta}$$

$$P_b = \frac{UTS \cdot h^2}{2 \cos \theta} \int_0^L \frac{1}{\left( r + \frac{R-r}{L} x \right)} dx$$

misal :

$$t = \left( r + \frac{R-r}{L} x \right);$$

$$\frac{dt}{dx} = \left( \frac{R-r}{L} \right);$$

$$dx = \frac{L dt}{(R-r)}$$





Sehingga harga  $P_b$  menjadi :

$$P_b = \frac{UTS \cdot h^2 \cdot L}{2 \cos \theta (R - r)} \int_0^L \frac{1}{t} dt$$

$$P_b = \frac{UTS \cdot h^2 \cdot L}{2 \cos \theta (R - r)} [\ln \cdot t]_0^L$$

$$P_b = \frac{UTS \cdot L \cdot h^2}{2(R - r) \cos \theta} \left[ \ln \left( r + \frac{R - r}{L} x \right) \right]_0^L$$

$$P_b = \frac{UTS \cdot L \cdot h^2}{2(R - r) \cos \theta} (\ln R - \ln r)$$

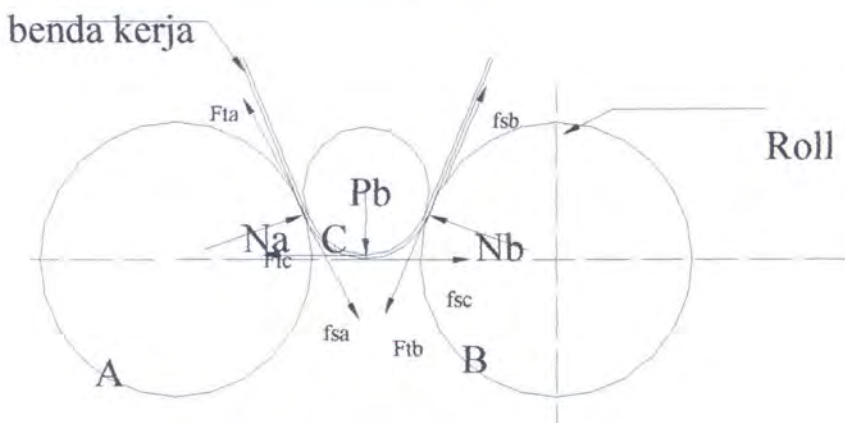
$$P_b = \frac{UTS \cdot L \cdot h^2}{2(R - r) \cos \theta} \ln \frac{R}{r}$$

$$P_b = \frac{90 \cdot 10^3 \cdot 11,8 \text{ in} \cdot (0,19 \text{ in})^2}{2(2,76 \text{ in} - 1,38 \text{ in}) \cos 17^\circ} \ln \frac{2,76}{1,38}$$

$$P_b = 9,984 \times 10^3 \text{ lb} = 9984 \text{ lb}$$

$$\text{Besar } A_y = B_y = \frac{1}{2} P_b = 4992 \text{ lb.}$$

Menghitung gaya tangensial dan aksial pada masing-masing roll dilakukan dengan menggunakan analisa vektor yaitu:

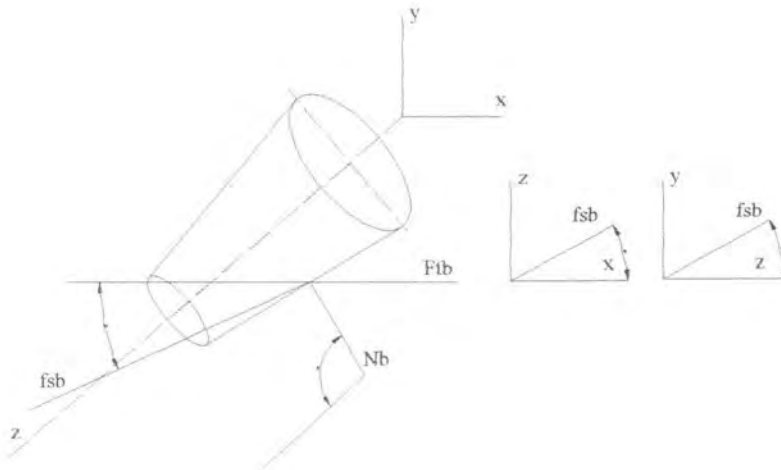


Gambar 4.7 Vektor gaya-gaya pada roll

Dari gambar..... menunjukkan bahwa gaya normal pada roll bekerja pada bidang  $y - z$  membentuk sudut  $\alpha$  terhadap sumbu  $z$ . Sedangkan gaya



gesek ( $f$ ) bekerja tegak lurus terhadap gaya normal ( $N$ ) pada bidang  $x - z$  membentuk sudut  $\beta$  terhadap sumbu  $x$ .



Gambar4.7. Vektor gaya pada roll

Dari diagram vektor maka besarnya gaya tangensial dan aksial adalah :

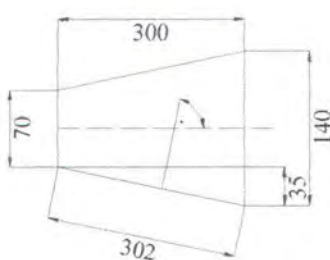
$$F_t = f \cos \beta = \mu_k \cdot N \cos \beta.$$

$$F_a = P_b \cos \alpha.$$

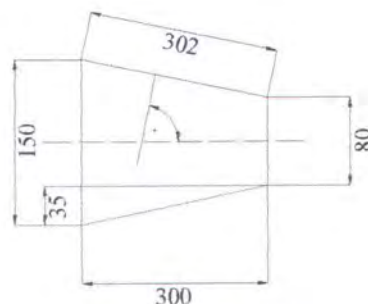
Dimana :

$\mu_k$  diambil 0,15 dari tabel ( elemen mesin )

$$\cos \alpha = \frac{35}{302} \text{ dan } \cos \beta = \frac{300}{302} \text{ ( untuk roll C )}$$



gambar roll C



gambar roll B

gambar 4.8 roll B dan C



Gaya tangensial roll C.

$$F_{t_c} = f_c \cos \beta = \mu k \cdot N_c \cdot \frac{300}{302} = 0,15 \times 9984 \text{ lb} \times \frac{300}{302}$$

$$F_{t_c} = 1487,6 \text{ lb}$$

Gaya aksial roll C.

$$F_{a_c} = P_b \cdot \cos \alpha = 9984 \text{ lb} \cdot \frac{35}{302}$$

$$F_{a_c} = 1157 \text{ lb}$$

Gaya tangensial roll A dan B.

$$F_{t_A} = F_{t_B} = f_a \cos \beta = \mu k \cdot N_a \cdot \frac{300}{302}$$

$$F_{t_A} = \frac{\mu k \cdot A_y}{\sin \theta_{R \min}} \times \frac{300}{302} = \frac{0,15 \times 4992 \text{ lb}}{\sin 17^\circ} \times \frac{300}{302}$$

$$F_{t_A} = 2544,16 \text{ lb.}$$

Gaya aksial pada roll A dan B.

$$F_{a_A} = F_{a_B} = A_y \cos \alpha = 4992 \times \frac{35}{302}$$

$$F_{a_A} = 578,5 \text{ lb.}$$

Menghitung besarnya Torsi pada poros roll dengan rumus

$$T = F_t \cdot r$$

Dimana :

$F_t$  = gaya tangensial ( lb ).

$r$  = jari-jari roll ( in ).

Karena jari-jari untuk satu roll tidak sama maka besarnya torsi akan bervariasi ( berubah kontinyu sepanjang sumbu roll ), dari jari-jari kecil ke besar. Untuk itu agar perhitungan selanjutnya akan dipilih Torsi terbesar yang terjadi pada poros roll.

Torsi pada poros roll C.

$$T_{C_{\max}} = F_{t_c} \cdot r_{C_{\max}} = \frac{1487,6 \times 70 \text{ mm} \times \text{in}}{25,4 \text{ mm}}$$

$$T_{C_{\max}} = 4099,7 \text{ lbin}$$





Torsi pada poros roll A dan B.

$$T_{Amak} = T_{Bmak} = F_{tA} \cdot r_{Amak} = \frac{1157 \text{ lb} \times 75 \text{ mm} \times \text{in}}{25,4 \text{ mm}}$$

$$T_{Amak} = 3416,3 \text{ lb.in}$$

kemudian dihitung besarnya gaya tangensial pada roda gigi 2 dan 3 yang besarnya sama, yaitu

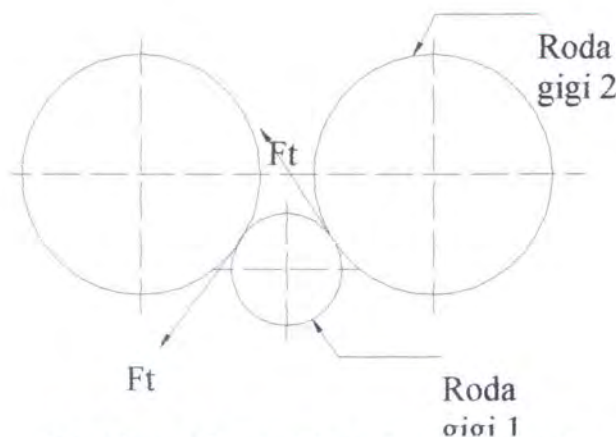
$$F_{t2} = F_{t3} = \frac{2 \cdot T_{Amak}}{d_g}$$

dimana :

$$d_g = \text{diameter gear} = 140 \text{ mm} = 5,5 \text{ in.}$$

$$F_{t_{\text{gear}}} = \frac{2 \times 3416,3}{5,5 \text{ in}} = 1242,3 \text{ lb.}$$

Dengan mekanisme roda gigi seperti gambar 4.9.maka Torsi pinion adalah



Gambar 4.9.gaya tangensial roda gigi

$$T_{\text{pinion}} = 2F_{tX} \frac{d_p}{2}$$

Dimana :

$$D_p = \text{diameter pinion} = 80 \text{ mm} = 3,15 \text{ in.}$$

$$T_{\text{pinion}} = (1242,3 \text{ lb}) \times \frac{3,15}{2} \text{ in}$$

$$T_{\text{pinion}} = 3913,3 \text{ lb.in.}$$



Pada mekanisme ini roda gigi pinion akan di gerakkan oleh lengan yang diputar oleh manusia dengan perbandingan putaran adalah

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{d_g}{d_p} = \frac{140}{80} = 1,75, \text{ sedangkan daya manusia dalam ( Hp ) diperkirakan}$$

0,5 Hp – 0,75 Hp. Sehingga

$$n_1 = \frac{Hp.63000}{T_{pinion}} = \frac{0,75 \times 63000}{3913,3lb} = 12rpm.$$

maka besar harga  $n_2$  diperoleh

$$n_2 = \frac{12rpm}{1,75} = 6,9rpm$$

Panjang lengan direncanakan  $L = 300 \text{ mm} = 11,8 \text{ in}$ . Maka gaya yang dibutuhkan untuk memutar lengan adalah :

$$F = \frac{T}{L} = \frac{3913,3lb.in}{11,8in}$$

$$F = 331,6lb.$$

Gaya ini adalah gaya yang dibutuhkan manusia untuk memutar roll jika pelat yang dilengkungkan ( dibentuk ) mempunyai ketebalan  $t = 5 \text{ mm}$  hingga radius minimum dari kemampuan roll yaitu  $r_{min} = 35 \text{ mm}$ . Jika pelat yang dibentuk mempunyai ketebalan lebih kecil maka gaya yang dibutuhkan juga lebih kecil. Disamping itu jika diinginkan  $F$  yang lebih kecil bisa didapatkan dengan memperpanjang lengan pemutar.

#### 4.2. Perencanaan Roda gigi.

Pasangan roda gigi dalam alat ini berfungsi mentransmisikan daya putar dari lengan pemutar ke poros roll A dan B. Dimana diharapkan roll A dan B akan berputar dengan kecepatan putar sama baik besar maupun arahnya. Untuk itu maka mekanisme roda gigi direncanakan sebagai berikut :

1. Pemilihan roda gigi dilakukan dengan pertimbangan :
  - Kedua poros paralel sejajar.
  - Bekerja pada putaran rendah.



Dari kedua pertimbangan tersebut, maka dipilih roda gigi lurus (spur gear) dengan data awal sebagai berikut :

Daya yang ditransmisikan	= 0,5 – 0,75 Hp.
Putaran ( $n_p$ )	= 12 rpm.
$d_p$ (diameter roda gigi 1)	= 80 mm.
$d_g$ (diameter roda gigi 2 dan 3)	= 140 mm.
Putaran roda gigi 2 ( $n_g$ )	= 6,9 rpm.

Dari data 2 tersebut, maka perbandingan kecepatannya adalah

$$r_v = \frac{d_p}{d_g} = \frac{80}{140} = \frac{4}{7} = 0,57$$

Jarak center roda gigi 1 relatif terhadap 2 dan 3 adalah

$$C_{12} = C_{13} = \frac{d_p + d_g}{2} = \frac{80 \text{ mm} + 140 \text{ mm}}{2} = 110 \text{ mm}$$

Jarak center roda gigi 2 relatif terhadap 3 adalah

$$C_{23} = \text{jarak pusat poros roll A dan B} = 210 \text{ mm.}$$

Torsi yang dipindahkan :

$$\begin{aligned} T &= 63.000 \frac{Hp}{n_p} \\ &= 63.000 \frac{0,75Hp}{12rpm} = 3937,5lb.in \end{aligned}$$

Kecepatan keliling pinion :

$$\begin{aligned} V_p &= \frac{d_p \times n_p}{12} \\ &= \frac{3,15 \times 12}{12} = 3,15 \text{ ft / menit.} \end{aligned}$$

Gaya tangensial ( $F_t$ ) :

$$\begin{aligned} F_t &= \frac{2T}{d_p} \\ &= \frac{2(3937,5lb.in)}{3,15in} = 2500lb. \end{aligned}$$





Gaya normal oleh gear dan dipinion adalah nol. Beban dinamis untuk  $V_p$  0,46 ft/menit adalah :

$$F_d = \frac{(600 + V_p)F_t}{600} \text{ untuk } 0 < V_p < 200 \text{ ft/menit.}$$

$$F_d = \frac{(600 + 3,15 \text{ ft / menit})2500 \text{ lb}}{600}$$

$$F_d = 2513,125 \text{ lb.}$$

Sudut tekan dipilih  $20^\circ$  full depth dan material roda gigi dipilih SAE 1040 dengan pengerasan permukaan hingga BHN 375 dan  $S_o = 2500$  psi. Lebar roda gigi adalah dicari dengan beban keausan menurut Buckingham, yaitu :

$$F_w = d_p \cdot b \cdot g \cdot K$$

dimana :

$$F_w = F_d = \text{beban keausan ( lb ).}$$

$$D_p = \text{diameter pinion.}$$

$$b = \text{lebar roda gigi.}$$

$$K = \text{Wearload faktor ( tabel 10 – 11)}$$

$$g = \frac{2d_g}{d_p + d_g} = \frac{2(140)}{140 + 80} = 1,27.$$

Dari tabel 10 – 11 untuk material dengan BHN rata-rata = 375 dan sudut kontak  $\theta = 20^\circ$  didapat interpolasi  $K = 318$ , sehingga :

$$\begin{aligned} b &= \frac{F_w}{d_p \cdot g \cdot K} \\ &= \frac{2513,125 \text{ lb}}{3,15 \text{ in} \times 1,27 \times 318} = 1,98 \text{ in} \end{aligned}$$

b diambil 50 mm.

Ketentuan diametral pitch.

$$\frac{9}{P} < b < \frac{13}{P}.$$

maka nilai P adalah.

$$\frac{9}{P} < 1,98 < \frac{13}{P}; 4,6 < P < 6,6 \text{ diambil } P = 6.$$



Jumlah gigi pinion  $N_{t_p} = d_p \cdot P = 3,15 \times 6 = 18,9$ . Diambil pinion yang jumlahnya 19 gigi.

Jumlah gigi gear  $N_{t_g} = d_g \cdot P = 5,5 \times 6 = 33$  gigi.

Dari tabel 10-2, Untuk  $N_{t_p} = 19$  dan sudut kontak  $20^\circ$  full depth didapat Lewis faktor  $Y_p = 0,314$  dan  $N_{t_p} = 33$ . Didapat  $Y_g = 0,367$ . Kemudian dilakukan pemeriksaan nilai keamanan roda gigi dengan menggunakan metode Lewis, yaitu :

$$F_b = S \cdot b \cdot \frac{Y}{P}$$

Dimana :

$F_b$  = beban ijin berdasarkan bending.

$S$  = tegangan tarik.

$b$  = tebal roda gigi.

$P$  = diametral pitch.

Untuk pinion

$$P_b = \frac{25000 \times 1,98 \times 0,314}{6} = 2590,5 \text{ lb.}$$

Untuk gear

$$P_b = \frac{25000 \times 1,98 \times 0,367}{6} = 3027,75 \text{ lb}$$

Karena  $F_{b \text{ gear}} > F_d$  maka perencanaan aman.

Menentukan ukuran roda gigi dengan tabel – 1 Toth system.

$$\text{Addendum} = \frac{1}{P} = \frac{1}{6} = 0,167 \text{ in.}$$

$$\text{Dedendum} = \frac{1,25}{P} = \frac{1,25}{6} = 0,2 \text{ in.}$$

$$\text{Clearance} = \frac{0,25}{P} = \frac{0,25}{6} = 0,04 \text{ in.}$$

$$\text{Working depth} = \frac{2}{P} = \frac{2}{6} = 0,33 \text{ in.}$$

$$\text{Whole depth} = \frac{2,25}{P} = \frac{2,25}{6} = 0,375 \text{ in.}$$



#### 4.2.1 Berat Roda Rigi.

Berat roda gigi pinion adalah :

Bahan baja SAE 1040,  $\rho = 0,283 \text{ lb/in}^3$ .

$$\text{Berat roda gigi} = \frac{3}{4} \cdot \frac{\pi}{4} (d_p^2 - d_{\text{poros}}^2) b \rho$$

Dimana :

$$d_p = 3,15 \text{ in.}$$

$$d_{\text{poros}} = 1 \text{ in.}$$

$$b = 1,98 \text{ in.}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat pinion} &= \frac{3}{4} \times \frac{3,14}{4} (3,15^2 - 1^2) 1,98 \text{ in} \times 0,283 \text{ lb/in}^3 \\ &= 2,94 \text{ lb.} \end{aligned}$$

Berat roda gigi gear adalah :

$$d_p = 5,5 \text{ in.}$$

$$d_{\text{poros}} = 1,18 \text{ in.}$$

$$b = 1,98 \text{ in.}$$

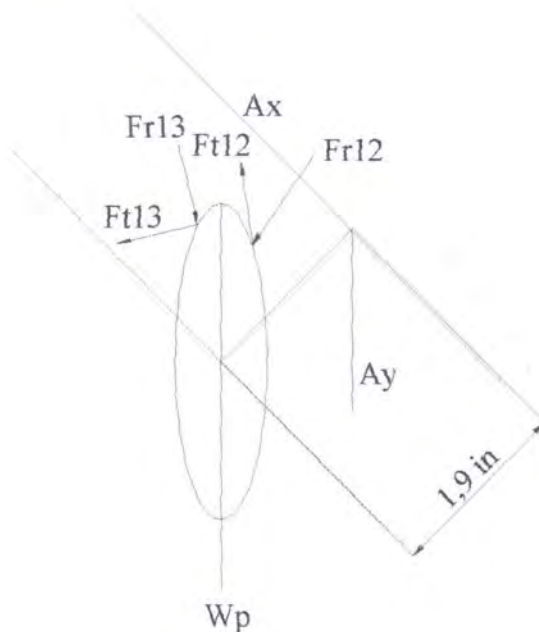
$$\begin{aligned} \text{Berat gear} &= \frac{3}{4} \times \frac{3,14}{4} (5,5^2 - 1,18^2) 1,98 \text{ in} \times 0,283 \text{ lb/in}^3 \\ &= 38 \text{ lb.} \end{aligned}$$





### IV.3. Perencanaan Poros.

#### IV.3.1 Perencanaan Poros 1.



Gambar 4.10. Gaya-gaya pada poros 1

$$\begin{aligned} F_{t13} &= F_{t12} = \text{Gaya tangensial akibat putaran rodagigi 3 dan 2.} \\ &= 1250 \text{ lb} = 2500 \text{ lb.} \end{aligned}$$

$$F_L = \text{Gaya lengan} = 331,6 \text{ lb.}$$

$$W_p = 2,94 \text{ lb.}$$

$$\begin{aligned} F_{r12} &= \text{Gaya radial roda gigi 1 relatif terhadap gear 2.} \\ &= F_t \tan \phi = 2500 \text{ lb} \tan 20^\circ = 909,9 \text{ lb.} \end{aligned}$$

$$F_{r13} = F_t \tan \phi = 2500 \text{ lb} \tan 20^\circ = 909,9 \text{ lb.}$$

#### Analisa gaya – gaya arah sumbu x.

$$\sum F_x = 0$$

$$F_{t12} \sin \gamma + F_{r13} \sin \gamma - F_{r12} \sin \gamma + A_x + F_{L1} - F_{L1} \sin 30^\circ - F_{L3} \sin 30^\circ = 0$$

$$A_x = 2 F_{t12} \sin \gamma + F_{r12} - F_{r13}$$

$$A_x = 2 \cdot 1250 \cdot 105/110 + 331,6 \text{ lb} - 165,8 \text{ lb} - 165,8 \text{ lb}$$

$$A_x = 2386,35 \text{ lb.}$$



### Analisa gaya – gaya arah sumbu y.

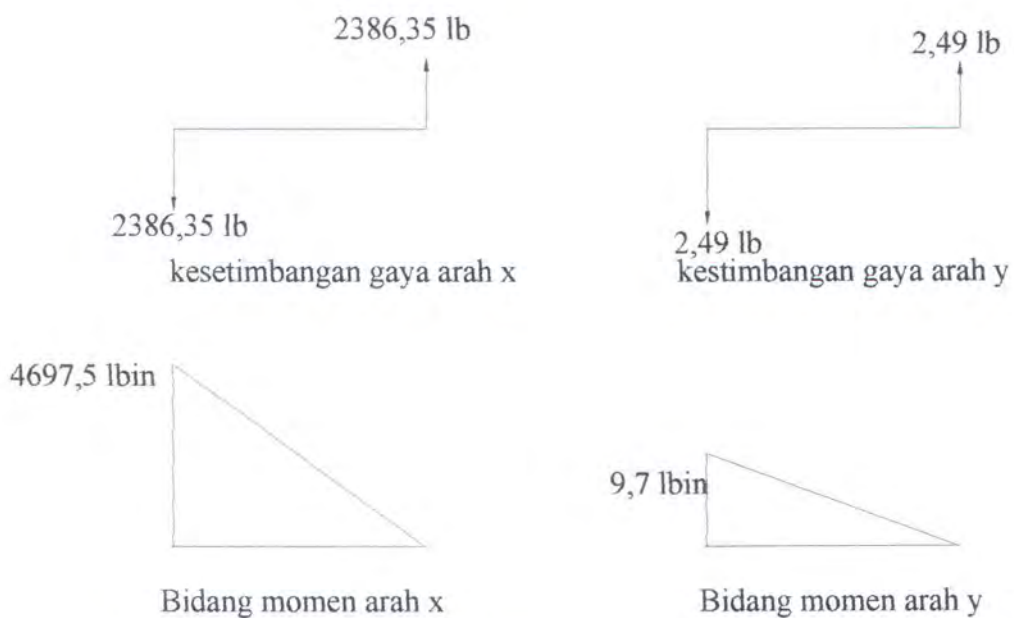
$$\sum F_y = 0$$

$$A_y - W_p + F_{r12} \cos \gamma - F_{r13} \cos \gamma - F_{t12} \cos \gamma + F_{t13} \cos \gamma = 0$$

$$A_y = W_p = 2,94 \text{ lb.}$$

$F_L$  saling menghilangkan

Diagram kesetimbangan gaya



Gambar 4.11 Diagram bidang momen.

Momen bending terbesar terjadi di titik A yaitu :

$$M_b = \sqrt{(4697,5 \text{ lbin})^2 + (9,7 \text{ lbin})^2} = 4697,5 \text{ lbin}$$

$$\text{Torsi poros} = 3937 \text{ lb.in}$$

Sehingga :

$$Syp \geq \frac{16xN}{0,5\pi D^3} \sqrt{Ma^2 + T^2}$$

$$Syp \geq \frac{16x2}{0,5\pi (1\text{in})^3} \sqrt{(4697,5 \text{ lbin})^2 + (3937 \text{ lbin})^2}$$

$$Syp \geq 124,9 \text{ Ksi}$$



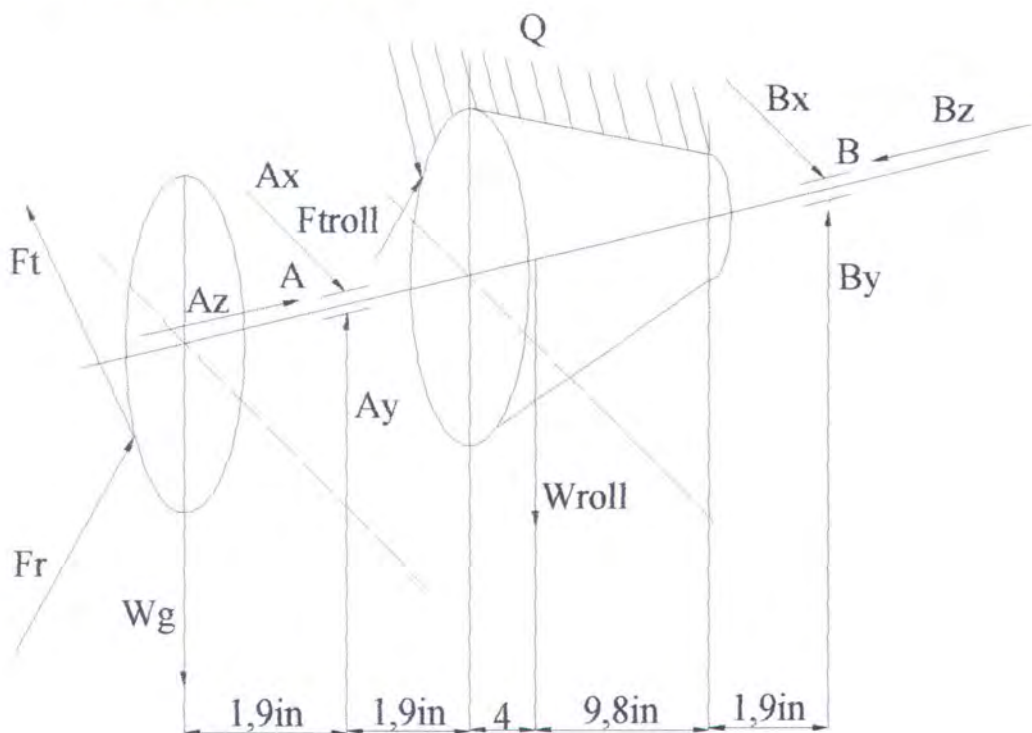
Dimana :

$N$  = Faktor keamanan diambil =2

$S_{syp} = 0,5 S_y$ .

$S_y \geq 124,9$  ksi dari sini dipilih material AISI C 1141 pada kondisi Drawn 1000° F dengan  $S_{syp} = 126$  ksi.

#### 4.3.2 Perencanaan Poros 2.



Gambar 4.12. gaya reaksi pada poros 1

$$W_{roll} = \text{Volume roll} \times \rho$$

Dimana :  $\rho = 0,28 \text{ lb/in}^3$

$$V_{roll} = \frac{1}{3} \pi (D(23,6) - d(11,8))$$

$$V_{roll} = \frac{1}{3} \pi (139,3 - 37,16)$$

$$V_{roll} = 106,9$$

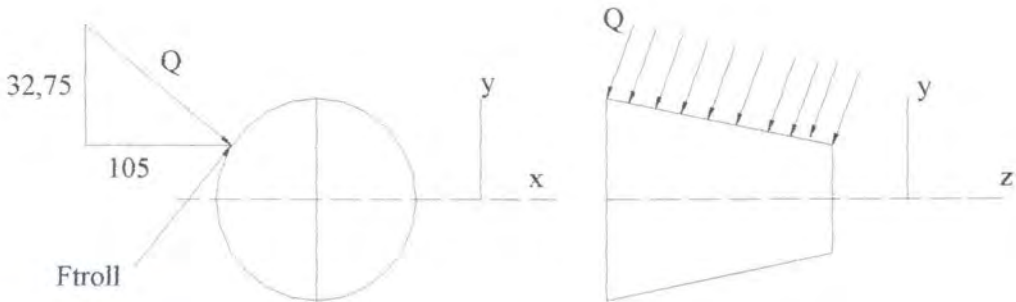
$$W_{roll} = 106,9 \times 0,28 = 30 \text{ lb.}$$

$$W_g = \text{berat gear} = 38 \text{ lb.}$$





Analisa gaya – gaya pada roll



Gambar 4.13. Gaya-gaya pada roll.

$$F_{aksial} = Q \sin \beta = 4992 (35/320) = 546 \text{ lb.}$$

$$Q_x = F_t \sin \theta + Q \cos \theta \cdot \sin \beta$$

$$Q_x = 4992 (105/110) (35/302) + 2544,16 (32,8/110)$$

$$Q_x = 1310 \text{ lb.}$$

$$Q_y = -Q \cos \beta \cdot \sin \theta + F_t \cos \theta$$

$$Q_y = 4992 (300/320) (32,78/105) + 2544,16 \text{ lb} (105/110)$$

$$Q_y = 967,4 \text{ lb.}$$

Analisa gaya pada roda gigi (gear).

$$C_x = F_r \sin \gamma - F_{tR} \cos \gamma$$

$$C_x = F_{tR} \tan \theta \cdot \sin \gamma - F_{tR} \cos \gamma$$

$$C_x = F_{tR} (\tan 20^\circ \cdot \sin \gamma - \cos \gamma)$$

$$C_x = 1250 \text{ lb} (0,36 (105/110) + (32,7/110)) = 57,95 \text{ lb.}$$

$$C_y = F_r \cos \gamma + F_{tR} \sin \gamma - W_g$$

$$C_y = F_{tR} \tan \theta \cdot \cos \gamma + F_{tR} \sin \gamma - W_g$$

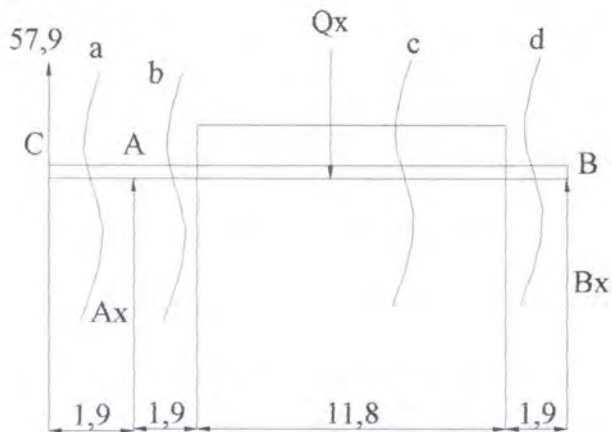
$$C_y = F_{tR} (\tan 20^\circ \cdot \cos \gamma - \sin \gamma) - W_g$$

$$C_y = 1250 \text{ lb} (0,36 (32,7/110) + (105/110)) - 38$$

$$C_y = (1321,6 - 38) \text{ lb.} = 1283,6 \text{ lb.}$$



### Kesetimbangan gaya arah x



Gambar 4.14. Reaksi gaya poros arah X

Reaksi tumpuan :

$$\sum M_B = 0 ;$$

$$-57,95 \text{ lb} (17,7) + A_x (15,7) + Q_x (7,8) = 0$$

$$A_x = (+1025,7 - 10218)/15,7$$

$$A_x = -585,5 \text{ lb.}$$

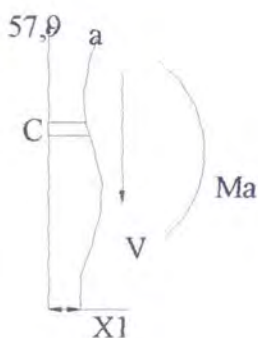
$$\sum F_x = 0 ;$$

$$57,95 + 585,5 - 1310 - A_y = 0$$

$$A_y = -666,5 \text{ lb.}$$

Reaksi potongan

Potongan a – a



$$V = 57,95 \text{ lb}$$

$$M_{aa} = -57,95 \text{ lb. } x_1$$

$$\text{Syarat batas } 0 \leq x_1 \leq 1,9.$$

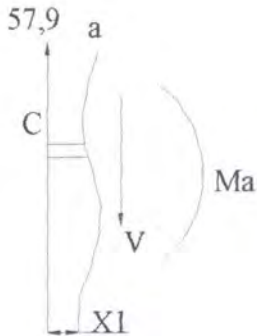
$$\text{Misal } x_1 = 0; \quad M_a = 0$$

$$x_1 = 1,9; \quad M_a = 91,6 \text{ lb.in}$$

Gambar 4.15 Potongan a-a



Potongan b – b



$$V = 643,5 \text{ lb}$$

$$M_{bb} = - 57,95 \text{ lb. } x_2 - 585,5 (x_2 - 1,9)$$

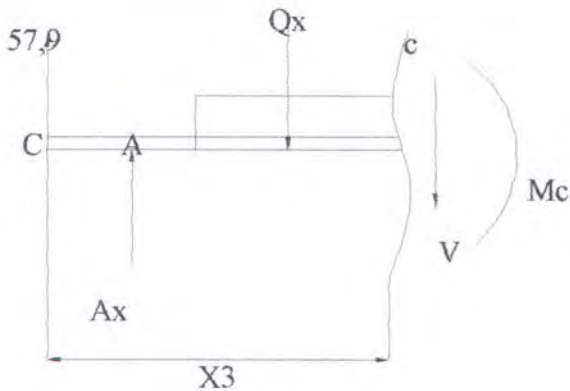
$$\text{Syarat batas } 0 \leq x_2 \leq 3,8.$$

$$\text{Misal } x_2 = 0; \quad M_{bb} = + 1106,75 \text{ lb.in}$$

$$X_2 = 3,8; \quad M_{bb} = - 886,54 \text{ lb.in}$$

Gambar 4.16. Potongan b-b

Potongan c – c



Gambar 4.17. potongan c-c

$$V = -57,95 + 585,5 - (Q_x/L)(x_3 - 3,8)$$

$$M_{cc} = - 57,95 \text{ lb. } x_3 - 585,5 (x_3 - 1,9) + \frac{1}{2} (Q_x/L) (x_3 - 3,8)^2$$

$$\text{Syarat batas } 0 \leq x_3 \leq 15,6.$$

$$\text{Misal } x_3 = 0; \quad V = 954,9 \text{ lb; } \quad M_{cc} = + 1106,75 \text{ lb.in}$$

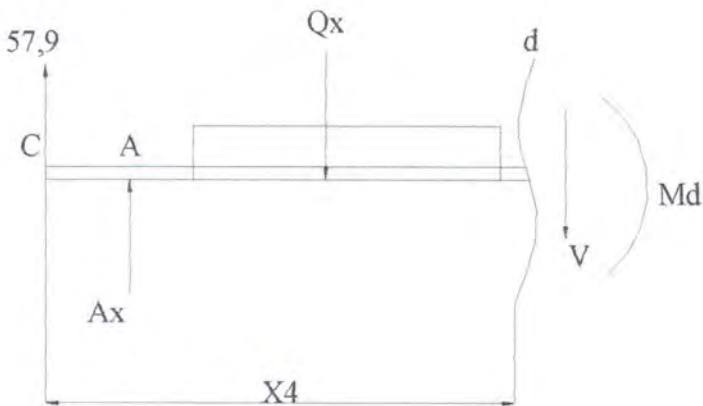
$$x_3 = 15,6; \quad V = -666,5 \text{ lb; } \quad M_{cc} = - 904,02 - 8021,35 + 7729$$

$$M_{cc} = - 1196,37 \text{ lb.in}$$





Potongan d – d



Gambar 4.18 Potongan d-d

$$V = 57,95 + 585,5 - 1310 = - 666,55$$

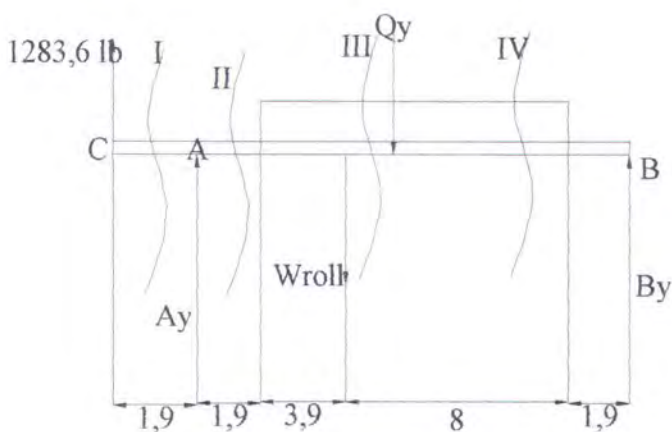
$$M_{dd} = - 57,95 \text{ lb. } x_4 - 585,5 (x_4 - 1,9) + Qx (x_4 - 7,8)^2$$

Syarat batas  $0 \leq x_4 \leq 17,7$ .

$$\text{Misal } x_4 = 0; \quad M_{dd} = + 1112,45 - 10218 = - 9105,5 \text{ lb.in}$$

$$x_4 = 17,7; \quad M_{dd} = - 1025,7 - 9250,9 + 12576 = - 2299,4 \text{ lb.in}$$

Kesetimbangan arah y



Gambar 4.19 Gaya raksi poros arah y



Reaksi tumpuan :

$$\Sigma M_B = 0 ;$$

$$-1283,6 \text{ lb} (1,9) - W_{\text{roll}} (5,8) - Q_y (7,8) - B_y (15,7) = 0$$

$$B_y = (-2438,84 - 174 - 7545,7)/15,7$$

$$B_y = -647 \text{ lb.}$$

$$\Sigma F_x = 0 ;$$

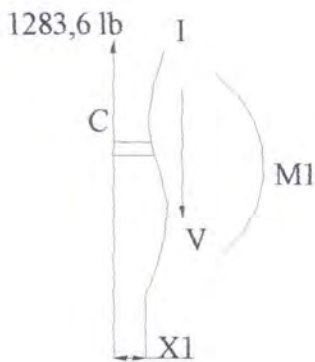
$$1283,6 - A_y - 30 - 967,4 + 647 \text{ lb} = 0$$

$$A_y = 933 \text{ lb.}$$



Mencari bidang momen dengan potongan

Potongan I

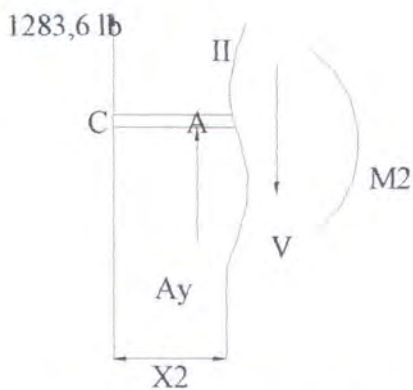


$$V_1 = 1283,6 \text{ lb.in}$$

$$M_1 = 2438,84 \text{ lb.in}$$

Gambar 4.20. Potongan I-I

Potongan II



$$V_{II} = (1283,6 - 933) = 350,6 \text{ lb.in}$$

$$M_{II} = -1283,6 (x_2) + 933 (x_2 - 1,9)$$

Syarat batas  $0 \leq x_{II} \leq 3,8$ .

$$\text{Misal } x_2 = 0; \quad M_{II} = -1772,7 \text{ lb.in}$$

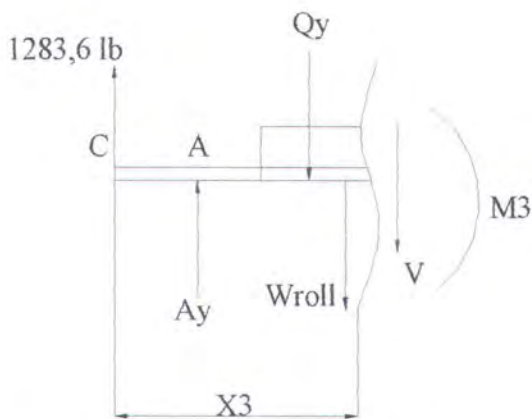
$$x_2 = 3,8; \quad M_{II} = -3104,98 \text{ lb.in}$$

Gambar 4.21 Potongan II-II





### Potongan III



Gambar 4.22 Potongan III-III

$$V_{III} = (1283,6 - 933) - Qy/L (x_3 - 3,8)$$

$$M_{III} = -1283,6 (x_3) + 933 (x_3 - 1,9) + \frac{1}{2}(Qx/L) (x_3 - 3,8)^2$$

Syarat batas  $0 \leq x_3 \leq 7,7$ .

Misal  $x_3 = 0$ ;  $V = 662,13 \text{ lb}$

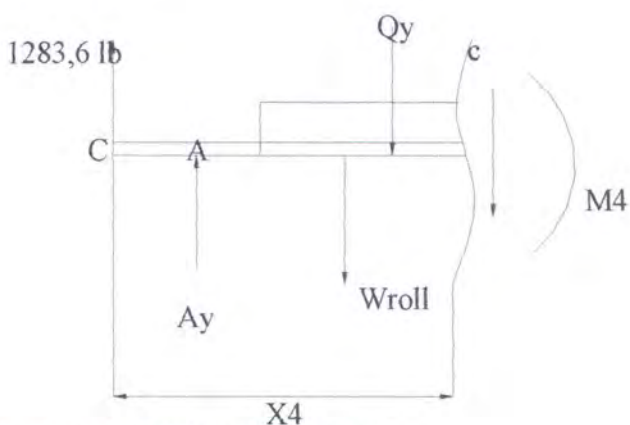
$$M_{III} = -1180,8 \text{ lb.in}$$

$x_3 = 7,7$ ;  $V = -959,4 \text{ lb}$

$$M_{III} = -9884 + 5411,4 \text{ lb} + 623,5$$

$$M_{III} = -3849 \text{ lb.in}$$

### Potongan IV



Gambar 4.23 Potongan IV-IV



$$V = 1283,6 - 933 - 30 - (Qy/L)(x_4 - 3,8)$$

$$M_{IV} = 1283,6 (x_4) + 933 (x_4 - 1,9) + 30 (x_4 - 7,7) + \frac{1}{2} (Qx/L) (x_4 - 3,8)^2$$

Syarat batas  $0 \leq x_{IV} \leq 15,6$ .

Misal  $x_4 = 0$ ;  $V = 632 \text{ lb}$ ;  $M_{IV} = -1772,7 \text{ lb.in}$

$x_4 = 15,6$ ;  $V = -646,8 \text{ lb}$

$$M_{IV} = -20024 + 12782 + 240 + 5760$$

$$M_{IV} = -1242 \text{ lb.in}$$

Potongan V

$$V = 933 \text{ lb}$$

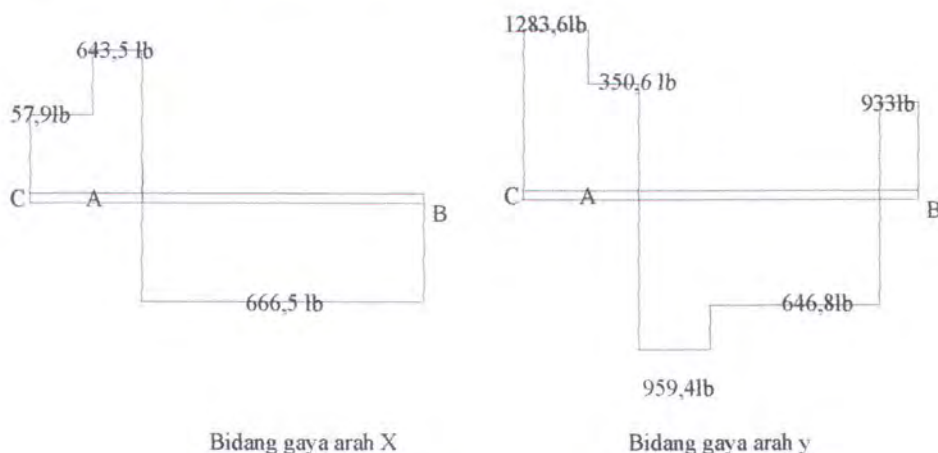
$$M_V = -20152,52 + 12875,4 + 240 + 7545,7$$

$$M_V = 508,92 \text{ lb.in}$$

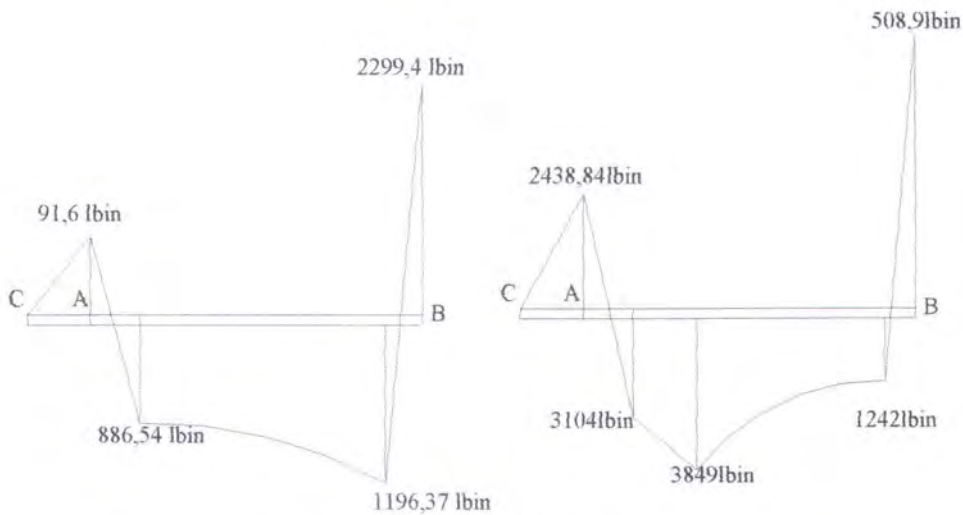
Kesetimbangan sumbu z

$$A_z = B_z = \frac{1}{2} \text{ Faksial} = \frac{1}{2} \cdot 546 \text{ lb} = 273 \text{ lb.}$$

Diagram bidang gaya dan momen :



Gambar 2.24 Bidang gaya



Gambar 2.25 Bidang Momen bending.

Dari gambar terlihat bahwa momen terbesar di titik A yaitu :

$$Mb = \sqrt{(91,6lbin)^2 + (2438,84lbin)^2} = 2440,5lbin$$

Sedangkan torsi pada poros adalah :

$$T = Ft_{RODA\ GIGI\ GEAR} \times rg = 1250\ lb.in \times 2,8\ in = 3445\ lb.in^2.$$

Momen bending dan torsi tersebut digunakan untuk menentukan material poros, karena diameter poros telah ditentukan yaitu :

$$d = 50\ mm = 2\ inci,$$

Jadi :

$$\begin{aligned} Syp &\geq \frac{16xN}{0,5\pi D^3} \sqrt{Ma^2 + T^2} \\ Syp &\geq \frac{16x2}{0,5\pi (1,18in)^3} \sqrt{(2440,05lbin)^2 + (3445lbin)^2} \\ Syp &\geq 52,37\ psi \end{aligned}$$

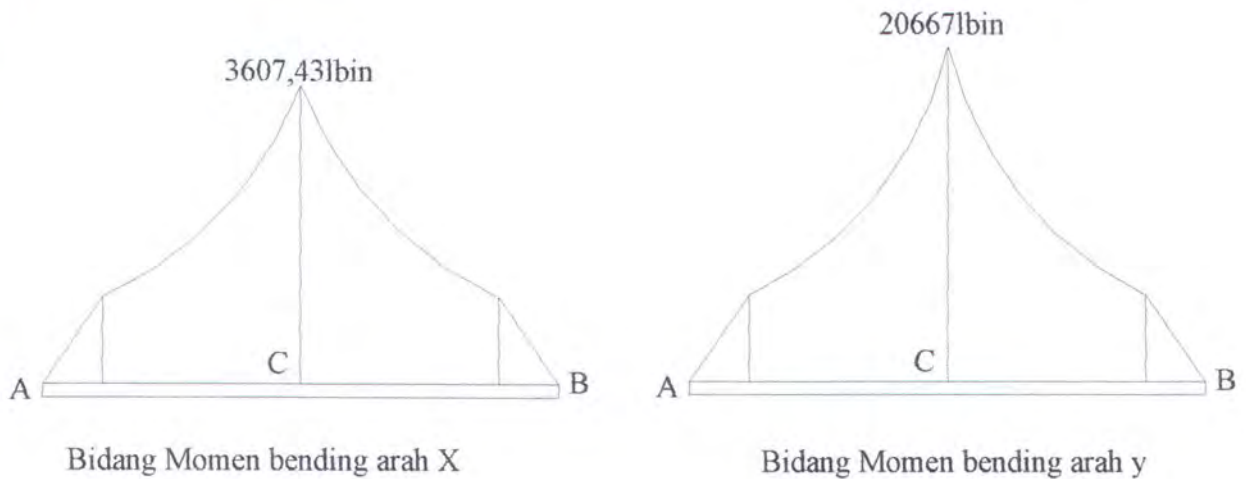
Dimana :

$Syp = \frac{1}{2} Ssy$  = tensile strenght ijin dari material

N = faktor keamanan dipilih 2

D = diameter poros = 30 mm = 1,18 inci





Gambar.4.29 Bidang momen bending pada poros 3.

Momen bending yang bekerja di C

$$Mb = \sqrt{(3607,43lbin)^2 + (20667lbin)^2} = 20979,5lbin$$

Torsi = 4099,7 lb.in

Momen bending dan torsi digunakan untuk menghitung Syp material karena dporos ditentukan = 2 in, maka :

$$Syp \geq \frac{16xN}{0,5\pi D^3} \sqrt{Ma^2 + T^2}$$

$$Syp \geq \frac{16x2}{0,5\pi(1,6in)^3} \sqrt{(20979,5lbin)^2 + (4099,7lbin)^2}$$

$$Syp \geq 106,37Ksi$$

dimana :

N = 2 (faktor keamanan)

D = 40 mm = 1,6 inci.

Dengan  $Syp \geq 106,37$  ksi, maka dipilih material poros type AISI C 1035 drawn 800° F dengan  $Syp = 110$  ksi,  $Ssy = 81$  ksi, BHN = 220.



#### 4.4. PERENCANAAN BANTALAN

##### 4.4.1. Bantalan pada poros 1

Dari perhitungan gaya – gaya pada poros diperoleh :

$$A_x = 2386,35 \text{ lb}$$

$$A_y = 2,94 \text{ lb}$$

$$N_p = 12 \text{ rpm}$$

$$d_{\text{poros}} = 1 \text{ inci} = 25 \text{ mm}$$

Sehingga gaya pada bantalan adalah :

$$Fr = \sqrt{2386,35^2 + 2,94^2} = 2386,4 \text{ lb}$$

Dari tabel SKF dengan diameter poros 25 mm dipilih single row deep groove ball bearing diperoleh :

$$B = 7 \text{ mm}$$

$$C = 3120 \text{ lb}$$

$$C_o = 1960 \text{ lb}$$

$$\text{Type} = 61805 \text{ 2Z}$$

$$\text{Diameter luar} = 37 \text{ mm}$$

$$i = 1 \text{ (untuk single)}$$

Karena bantalan tidak menerima beban aksial, maka besarnya beban equivalen adalah

$$P = V \cdot Fr$$

Dimana :

$$P = \text{Beban equivalen}$$

$$V = \text{diambil 1 untuk ring dalam berputar (faktor putaran)}$$

Sehingga :

$$P = Fr = 2386,4 \text{ lb}$$

Umur bantalan :



$$L_{10} = \frac{10^6}{60.n} \left[ \frac{C}{P} \right]^b \text{ dim ana : } b = 3 \text{ (ball bearing)}$$

$$L_{10} = \frac{10^6}{60.12 \text{ rpm}} \left[ \frac{3120}{2386,4 \text{ lb}} \right]^3$$

$$L_{10} = 3,1 \cdot 10^3 \text{ jam ker ja.}$$

#### 4.4.2. Bantalan pada poros 2

Dari perhitungan gaya – gaya pada poros diperoleh :

$$A_x = 585,5 \text{ lb}$$

$$B_x = 666,5 \text{ lb}$$

$$A_y = 933 \text{ lb}$$

$$B_y = 647 \text{ lb}$$

$$F_a = 273 \text{ lb}$$

$$n_p = 6,9 \text{ rpm}$$

$$d_{\text{poros}} = 30 \text{ mm} = 1,18 \text{ inci}$$

Resultan dari gaya - gaya tumpuan tersebut adalah :

$$F_{RA} = \sqrt{585,5^2 + 933^2} = 1101,5 \text{ lb}$$

$$F_{RB} = \sqrt{666,5^2 + 647^2} = 928,88 \text{ lb}$$

Dari tabel SKF dengan diameter poros 30 mm dipilih single row deep groove ball bearing diperoleh :

$$B = 7 \text{ mm}$$

$$C = 3120 \text{ lb}$$

$$C_o = 2080 \text{ lb}$$

$$D = 42 \text{ mm}$$

$$\text{Type} = 61805 \text{ 2Z}$$

$$i = 1 \text{ untuk single deep groove}$$

$$\frac{i.F_a}{C_o} = \frac{1 \times 273 \text{ lb}}{2080 \text{ lb}} = 0,13$$

dan dari tabel diperoleh  $e = 0,31$  dan  $v = 1$  untuk ring dalam berputar





$$\frac{F_a}{V.Fr} = \frac{273 \text{ lb}}{1 \times 1101,5 \text{ lb}} = 0,248$$

Karena  $\frac{F_a}{V.Fr} \leq e$ ; maka dari tabel diperoleh

$$X = 0$$

$$Y = 1$$

Sehingga :

$$P = X \cdot V \cdot Fr + Y \cdot Fa$$

$$P = 1 \cdot 1 \cdot 1101,5 \text{ lb} + 0 \cdot 273 \text{ lb}$$

$$P = 1101,5 \text{ lb}$$

$$L_{10} = \frac{10^6}{60.n} \left[ \frac{C}{P} \right]^b \text{ dimana : } b = 3 \text{ (ball bearing)}$$

$$L_{10} = \frac{10^6}{60.3 \text{ rpm}} \left[ \frac{3120}{1101,5 \text{ lb}} \right]^3$$

$$L_{10} = 5,3 \cdot 10^4 \text{ jam kerja}$$

#### 4.4.3. Bantalan pada poros 3

Dari perhitungan gaya – gaya pada poros 3 diperoleh :

$$A_x = 743,8 \text{ lb}$$

$$B_x = 743,8 \text{ lb}$$

$$A_z = F_{\text{aksial}} = 578,5 \text{ lb}$$

$$B_z = F_{\text{aksial}} = 578,5 \text{ lb}$$

$$A_y = 4268 \text{ lb}$$

$$B_y = 4261 \text{ lb}$$

$$n_p = 6,9 \text{ rpm}$$

$$d_{\text{poros}} = 40 \text{ mm}$$

Resultan dari gaya - gaya tumpuan tersebut adalah :

$$F_{RA} = \sqrt{743,8^2 + 4268^2} = 4332,3 \text{ lb}$$

$$F_{RB} = \sqrt{743,8^2 + 4261^2} = 4325,4 \text{ lb}$$



Dari tabel SKF dengan diameter poros 40 mm dipilih single row deep groove ball bearing diperoleh :

$$B = 7 \text{ mm}$$

$$C = 4160 \text{ lb}$$

$$C_o = 3350 \text{ lb}$$

$$D = 52 \text{ mm}$$

$$\text{Type} = 61808 \text{ 2Z}$$

$$i = 1 \text{ untuk single deep groove}$$

$$\frac{i \cdot F_a}{C_o} = \frac{1 \times 578,5 \text{ lb}}{3350 \text{ lb}} = 0,17$$

dan dari tabel untuk  $d_p = 52 \text{ mm}$  diperoleh  $e = 0,39$  dan  $v = 1$  untuk ring dalam berputar

$$\frac{F_a}{V \cdot F_r} = \frac{578,5 \text{ lb}}{1 \times 4332,3 \text{ lb}} = 0,134$$

Karena  $\frac{F_a}{V \cdot F_r} \leq e$  ; maka dari tabel diperoleh

$$X = 1$$

$$Y = 0$$

Sehingga :

$$P = X \cdot V \cdot F_r + Y \cdot F_a$$

$$P = 1 \cdot 1 \cdot 4332,3 \text{ lb} + 0 \cdot 578,5 \text{ lb}$$

$$P = 4332,3 \text{ lb.}$$

$$L_{10} = \frac{10^6}{60 \cdot n} \left[ \frac{C}{P} \right]^b \text{ dim ana : } b = 3 \text{ (ball bearing)}$$

$$L_{10} = \frac{10^6}{60 \cdot 6,9 \text{ rpm}} \left[ \frac{4160}{4332,3 \text{ lb}} \right]^3$$

$$L_{10} = 2,14 \cdot 10^3 \text{ jam ker ja.}$$



#### 4.5. PASAK

Tinjauan geser

$$\begin{aligned}\tau &\leq \frac{S_{syp}}{N} \\ \frac{F}{A} &\leq \frac{S_{syp}}{N} \\ \frac{F_t}{W.L} &\leq \frac{0,5.Syp}{W.L}\end{aligned}$$

Tinjauan kompresi

$$\begin{aligned}\tau_c &\leq \frac{S_c}{N} \\ \frac{F_t}{A} &\leq \frac{S_c}{N} \\ \frac{F_t}{W/2L} &\leq \frac{S_c}{N} \\ S_c &\geq \frac{2F_tN}{W.L}\end{aligned}$$

Jadi baik tinjauan geser maupun kompresi akan menghasilkan kekuatan bahan yang sama. Akan tetapi karena nilai  $S_{yp} < S_c$ , maka pada perencanaan pasak ini akan dilakukan dengan tinjauan terhadap geser.

Pasak pada poros 1

Pasak ini menghubungkan poros 1 dan pinion dimana data – datanya sebagai berikut :

$$D_{poros} = 1 \text{ in.}$$

$$L_{pinion} = 50 \text{ mm} = 2 \text{ in.}$$

$$F_t = 2500 \text{ lb}$$

$$W = \frac{1}{4} \text{ in (dari tabel 6-2 elemen mesin)}$$

$$H = \frac{1}{4} \text{ in (dari tabel 6-2 elemen mesin)}$$

Data – data tersebut digunakan untuk menghitung  $S_{yp}$  material poros yaitu :





$$Syp \geq \frac{2 \cdot Ft \cdot N}{W \cdot L} \quad \text{dimana } N \text{ dipilih } 3 \text{ (faktor keamanan)}$$

$$Syp \geq \frac{2 \cdot 2500 \text{ lb} \cdot 3}{\frac{1}{4} \text{ in} \cdot 2 \text{ in}}$$

$$Syp \geq 30000 \text{ psi}$$

Dari tabel dipilih material AISI 1010 HR.

Dengan

$$Syp = 64 \text{ ksi}$$

$$Sc = 42 \text{ ksi}$$

$$BHN = 107 \text{ BHN}$$

Pasak pada poros gear

Data – data :

$$D_{\text{poros}} = 50 \text{ mm} = 2 \text{ in.}$$

$$L_{\text{pinion}} = 50 \text{ mm} = 2 \text{ in.}$$

$$Ft = 1250 \text{ lb}$$

$$W = \frac{1}{2} \text{ in (dari tabel 6-2 elemen mesin)}$$

$$H = \frac{1}{2} \text{ in (dari tabel 6-2 elemen mesin)}$$

Data digunakan untuk menghitung Syp material.

$$Syp \geq \frac{2 \cdot Ft \cdot N}{W \cdot L} \quad \text{dimana } N \text{ dipilih } 3 \text{ (faktor keamanan)}$$

$$Syp \geq \frac{2 \cdot 1250 \text{ lb} \cdot 3}{\frac{1}{2} \text{ in} \cdot 2 \text{ in}}$$

$$Syp \geq 7500 \text{ psi}$$

Dari tabel dipilih material AISI 1010 HR.

Dengan

$$Syp = 64 \text{ ksi}$$

$$Sc = 42 \text{ ksi}$$

$$BHN = 107 \text{ BHN}$$



#### 4.6. Ulir Penggerak.

Ulir penggerak pada alat ini digunakan untuk mengangkat dan menurunkan roll A ( roll bagian atas ). Disamping itu ulir penggerak juga berfungsi memberikan tekanan kebawah untuk membending pelat dan pada waktu tertentu akan dipertahankan posisinya ( ulir ) saat roll bekerja berputar untuk membengkokkan atau melengkungkan pelat baja.

Dengan kondisi diatas maka ulir penggerak didesain dengan diameter  $\frac{3}{4}$  in. Bahan ulir dan mur direncanakan sama. Ulir penggerak ini dioperasikan pada putaran rendah dengan sebuah lengan.

Sedangkan beban pada tumpuan bearing yang akan digerakkan ulir penggerak adalah :

$$A_y = 4268 \text{ lb.}$$

$$B_y = 4261 \text{ lb.}$$

Pada perencanaan ulir ini dipilih ulir type modifid Square threads sehingga dari tabel 5.3 ( elemen mesin ) didapat data – data :

$$\text{Threads per inchi} = 5.$$

$$\text{Diameter minor} = 0,575 \text{ in.}$$

$$\text{Thickness of the threads at the root} = 0,1087 \text{ in.}$$

Dari tabel 5 – 6 ( elemen mesin ) dengan diameter  $\frac{3}{4}$  inchi dipilih pitch ulir = 10/in dan jenis ulir triple. Sehingga  $n = 3$ , serta  $K_d (\ell)$  besarnya adalah :

$$\ell = n.P = 3 \times \frac{1}{10} \text{ in} = \frac{3}{10} \text{ in.}$$

Sudut helix  $\alpha$  besarnya adalah :

$$\tan \alpha = \frac{\ell}{\pi.d_m}$$

Dimana :

$$d_m = \text{diameter minor.} = 0,575 \text{ in.}$$

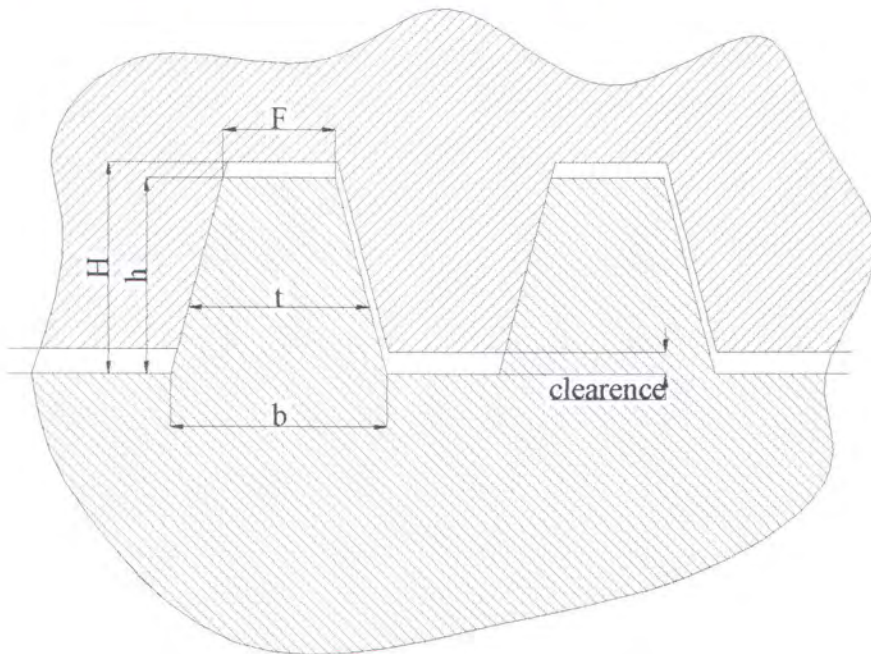


$$\alpha = \arctan \frac{\ell}{\pi \cdot d_m}$$

$$\alpha = \arctan \frac{\frac{3}{10} \text{ in}}{\pi \cdot 0,575 \text{ in}}$$

$$\alpha = 9,4^\circ$$

Ukuran ulir penggerak adalah sebagai berikut :



Gambar 4.30 Ukuran ulir penggerak .

Dimana :

$$h = \text{basic depth of thread} = 0,5 p = 0,15 \text{ in.}$$

$$t = \text{thickness of thread} = 0,5 p = 0,15 \text{ in.}$$

$$H = \text{total depth of thread} = d - d_{\text{minor}} = \frac{3}{4} \text{ in} - 0,575 \text{ in}$$

$$F = \text{basic width on that at cread of thread} = 0,4563 p = 0,13689.$$

Karena panjang batang ulir dikategorikan pendek, maka ulir penggerak akan mengalami tegangan paling besar yaitu tegangan kompresi dan tegangan geser yang ditimbulkan oleh torsi pada saat memutar ulir tersebut. Tegangan kompresi yang terjadi adalah :

$$\tau_c = \frac{W}{A} = \frac{4W}{\pi \cdot d_r^2}$$





Tegangan geser yang disebabkan oleh torsi pemutar adalah :

$$\tau = \frac{T(d_r/2)}{J} = \frac{T(d_r/2)}{\pi \cdot (d_r^4/32)} = \frac{16T}{\pi \cdot d_r^3}$$

Dimana :

$\tau_c$  = tegangan kompresi.

$\tau$  = tegangan geser.

T = torsi ( lb/in<sup>2</sup> )

W = beban ( lb ) = 4268 lb.

A = luas bidang =  $\frac{\pi}{4} \left( \frac{d_r + d_p}{2} \right)^2 (in^2)$ .

$d_r$  = diameter kaki ( root diameter ).

$d_p$  = diameter pitch ( in ).

Karena terjadi dua tegangan maka tegangan geser maksimum adalah :

$$\tau_{mak} = \sqrt{\left( \frac{\tau_c}{2} \right)^2 + (\tau)^2}$$

Menghitung torsi ulir penggerak.

Total beban yang ditahan oleh ulir pada saat roll penggerak turun untuk melakukan bending terhadap plat adalah :

$$\sum F = W + F_f \sin \alpha \rightarrow F_f = F_n \cdot f_s$$

$$\sum F = W + F_n \cdot f_s \sin \alpha.$$

Persamaan keseimbangannya adalah :

$$F_n \cdot \cos \theta_n \cdot \cos \alpha = W + F_n \cdot f_s \sin \alpha$$

dimana :

$F_n$  = gaya normal ulir.

$\alpha$  = sudut helix = 9,4°

$\theta_n$  = sudut ulir ( thread angle ) = 14,5°  
( dari tabel elemen mesin. )

$f_s$  = 0,25 (koefisien gesek untuk bahan baja dengan baja dan



beoperasi pada kondisi kering).

Sehingga :

$$F_n = \frac{W}{\cos \theta_n \cdot \cos \alpha - f_s \sin \alpha} = \frac{4268 \text{ lb}}{\cos 14,5^\circ \cdot \cos 9,4^\circ - 0,25 \sin 9,4^\circ}$$

$$F_n = 4742,2 \text{ lb}$$

Torsi ulir adalah merupakan besarnya gaya F untuk memutar ulir dengan jarak  $r_m$  (mean diameter) sehingga torsi yang diperlukan adalah :

$$Tr = F \times r_m$$

Dimana :  $F = f_s X F_n \cos \alpha + F_n \cos \theta_n \sin \alpha$

$$Tr = r_m (f_s X F_n \cos \alpha + F_n \cos \theta_n \sin \alpha)$$

$$Tr = \frac{3}{4} \text{ in } (0,25 X 4742,2 \text{ lb} X \cos 9,4^\circ + 4742,2 \text{ lb} X \cos 14,5^\circ \sin 9,4^\circ)$$

$$Tr = 314,8 \text{ lb-in.}$$

Tegangan geser maksimum yang terjadi adalah :

$$\tau_{mak} = \sqrt{\left(\frac{2W}{\pi d r^2}\right)^2 + \left(\frac{16Tr}{\pi d r^3}\right)^2}$$

$$\tau_{mak} = \sqrt{\left(\frac{2 X 4268 \text{ lb}}{\pi (3/4 \text{ in})^2}\right)^2 + \left(\frac{16 X 314,8 \text{ lb-in}}{\pi (3/4 \text{ in})^3}\right)^2}$$

$$\tau_{mak} = 6149 \text{ psi}$$

Agar ulir aman dari tegangan kompresi maksimum maka dipilih bahan ulir penggerak dengan  $S_y \geq 6149 \text{ psi}$ . Sehingga dipilih bahan baja karbon SAE 1040 not hot treated dengan  $S_y = 25.000 \text{ psi}$ . dengan BHN = 202.

Karena ulir penggerak disini digunakan untuk menekan roll hingga melengkungkan plat benda kerja, maka gaya yang dibutuhkan untuk memutar ulir sehingga plat bengkok adalah :

$$Fl = \frac{Tr}{L}$$

Dimana :

$F_L$  = gaya yang dibutuhkan untuk memutar ulir dengan panjang lengan tertentu.

$L$  = panjang lengan dari pusat putaran = 300 mm = 11,8 in.

Sehingga :




$$FL = \frac{314,8 \text{ lbin}}{11,8 \text{ in}}$$

$$FL = 26,67 \text{ lb}$$

Jadi gaya yang dibutuhkan untuk memutar ulir penggerak adalah sebesar 26,67 lb.





## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**



## **BAB V**

### **KESIMPULAN**

Dari proses perencanaan, pembuatan dan uji coba roll mesin roll ini dapat disimpulkan bahwa

1. mesin roll ini bisa digunakan untuk membuat ukuran ladel tuang logam cair dengan berbagai ukuran, dengan diameter minimal ladel tirus adalah 70 mm.
2. Mesin roll ini bisa digunakan untuk membentuk material ladel berupa plat baja dengan ketebalan maksimal 5mm dan kekuatan tarik maksimum  $52 \text{ kg/mm}^2$ .
3. Daya yang digunakan untuk mengerakkan mesin ini menggunakan lengan yang diputar secara manual oleh mausia.
4. Produk yang dihasilkan lebih bagus kualitasnya dari pada dibuat dengan sistem pembengkokan plat manual (sedikit-demi sedikit).
5. Pemakaian elemen mesin pada rancang bangun roll tirus ini didapatkan hasil sebagai berikut :
  - a. Roda Gigi  
Roda gigi yang dipakai dari material SAE 1040 dengan jumlah gigi gear 33 dan jumlah gigi pinion 19 buah gigi.
  - b. Poros  
Pemakaian poros pada mesin roll ini dengan type AISI C 1050, AISI C 1141 dan AISI C 1035 dengan diameter poros 30 mm.
  - c. Bearing  
Pemakaian bearing atau bantalan dengan diameter poros 30 mm berdasar tabel SKF dipilih single row deep groove ball bearing type 61805 2Z. Adapun umur bantalan tersebut  $5,3 \cdot 10^4$  jam kerja.
  - d. Pasak  
Pasak yang dipakai pada rancang bangun ini dipilih material AISI 1010 HR.



e. Ulir Penggerak

Ulir penggerak yang dipakai dari material baja karbon SAE 1040 not hot threaded dengan  $s_y = 25000$  psi dengan BHN 202. Gaya yang dibutuhkan untuk memutar sebesar 26,67 lb.





## DAFTAR PUSTAKA



## DAFTAR PUSTAKA

1. Brata, I Wayan, *DIKTAT ELEMEN MESIN*, Teknik Mesin FTI-ITS.
2. Sularso, Kyokatsu Suga, *DASAR PERENCANAAN DAN PEMILIHAN ELEMEN MESIN*, Cetakan ke 9 Th. 1997.
3. Deutchman, Aaron D, *MACHINE DESIGN THEORY AND PRACTICE*, Mc. Wiliam Publishing Co. Inc.
4. Mulyana, Achmad, *TEKNIK PEMBENTUKAN*, Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS, 1996.
5. Harris, J. Noel, *MECHANICAL WORKING OF METALS*, Pergamon Press, New York.
6. Campbell, James S, *PRINCIPLES OF MANUFACTURING MATERIALS AND PROSESES*, McGraw-Hill Book Company Inc, New York.
7. E. Paul DeGarmo, *MATERIALS AND PROCESSES IN MANUFACTURING*, Collier Macmillan international edition.
8. J.E.Shigley, " *MECHANICAL ENGINEERING DESIGN* ," McGraw – Hill Book Company, New York, 1963.
9. Sato, G. Takeshi, N.Sugiharto H, *MENG GAMBAR MESIN* , Cetakan ketujuh, PT. Pradnya Paramita, Jakarta, 1996.
10. J. La Heij, L. A. De Bruijn, *ILMU MENG GAMBAR BANGUNAN MESIN*, Cetakan ketujuh, PT. Pradnya Paramita, 1995.





**LAMPIRAN**





## LAMPIRAN A

Tabel A.1 – 1. tensile properties of wrought carbon and alloy steels ( representative approximate values only )

Composition	Size	Condition	Yield strength, ksi	Tensile strength, ksi	Elongation in 2 in., %	Reduction of area, %	Hardness, Bhn
Low carbon	1-in. round	Hot-rolled	46	63	38	62	126
		Cold-drawn	65	77	20	60	156
AISI C1015	1-in. round	Hot-rolled	46	61	39	61	126
		Cold-drawn	62	74	24	57	143
AISI C1018	1-in. round	Hot-rolled	48	69	38	62	143
		Cold-drawn	70	82	20	57	163
		Case-hardened (core properties)	56	92	27	48	197
AISI C1019	1-in. round	Hot-rolled	51	71	37	60	149
		Cold-drawn	72	84	20	56	170
AISI C1020	1-in. round	Hot-rolled	43	65	36	59	143
	1-in. round	Cold-drawn	66	78	20	55	156
	$\frac{1\frac{1}{8}}$ -in. round	Annealed	41	62	40	69	112
	$\frac{3}{8}$ -in. round	Cold-drawn	80	85	17	60	156
	2-in. round	Cold-drawn	79	80	14	50	163
AISI B1112	1-in. round	Cold-drawn	71	83	15	43	170
AISI B1113	1-in. round	Cold-drawn	72	84	14	40	170
AISI C1117	1-in. round	Hot-rolled	44	71	33	63	137
		Cold-drawn	66	78	20	55	156
AISI C1213	1-in. round	Cold-drawn	68	76	18	53	156
Rycase	1-in. round	Hot-rolled	44	71	33	63	137
		Cold-drawn	74	84	21	52	170
		Case-hardened (core properties)	59	97	23	53	192
AISI C1035	1-in. round	Hot-rolled	54	85	30	53	183
		Cold-drawn	79	92	25	50	201
		Drawn 800°F	81	110	18	51	220
		Drawn 1000°F	72	103	23	59	201
		Drawn 1200°F	62	91	27	66	180
AISI C1040	1-in. round	Hot-rolled	58	91	27	50	201
		Cold-drawn	88	100	17	42	207
		Drawn 1000°F	86	113	23	62	235
AISI C1042	1-in. round	Hot-rolled	59	93	26	50	201
		Cold-drawn	89	102	16	40	207
		Drawn 1000°F	90	116	22	60	235
AISI C1045	1-in. round	Hot-rolled	59	98	24	45	212
		Cold-drawn	90	103	14	40	217
		Drawn 600°F	114	149	8	33	312
		Drawn 800°F	104	145	14	44	290
	2-in. round	Drawn 800°F	66	108	15	45	215
	4-in. round	Drawn 800°F	63	102	16	46	200
	6-in. round	Drawn 800°F	63	102	16	46	200
	1-in. round	Drawn 1000°F	89	120	19	52	240
	1-in. round	Drawn 1200°F	73	104	24	60	208
AISI C1095	1-in. round	Hot-rolled	83	142	8	18	293
		Drawn 800°F	138	200	12	37	388
AISI C1137	1-in. round	Hot-rolled	57	92	27	61	192
		Cold-drawn	90	105	15	38	207
		Drawn 1000°F	88	112	21	56	255
AISI C1141	1-in. round	Hot-rolled	59	97	25	52	201
		Cold-drawn	93	110	14	40	223
		Drawn 1000°F	100	126	19	54	277
Rytense AA	1-in. round	Hot-rolled	60	97	25	51	201
		Cold-drawn	93	110	14	40	223



Tabel A.1 – 2. tensile properties of wrought carbon and alloy steels ( representative approximate values only )

Composition	Size	Condition	Yield strength, ksi	Tensile strength, ksi	Elongation in 2 in., %	Reduction of area, %	Hardness, Bhn
AISI 2015	1 1/2-in. round	Hot-rolled	44	64	34	66	130
	0.762-in. round	Cold-drawn	80	84	17	60	168
AISI 2317	1-in. round	Hot-rolled	56	85	29	60	163
		Cold-drawn	75	95	25	58	197
		Case-hardened (core properties)	107	137	22	52	285
AISI 2320	1 1/2-in. round	Hot-rolled	63	94	23	44	170
	1 1/4-in. round	Hot-rolled	63	86	27	65	183
	1 1/8-in. round	Hot-rolled	57	80	29	61	163
	3/4-in. round	Cold-drawn	114	120	13	50	220
	1 1/2-in. round	Cold-drawn	100	104	15	57	223
AISI 2330	1-in. round	Cold-drawn	91	97	16	55	207
		Hot-rolled	68	105	21	50	207
		Cold-drawn	119	124	12	43	223
		Drawn 400°F	195	221	11	40	425
		Drawn 600°F	171	196	14	49	382
		Drawn 800°F	131	160	18	56	327
		Drawn 1000°F	97	127	23	61	268
		Drawn 1200°F	70	108	27	64	222
AISI 2340	1-in. round	Drawn 800°F	164	178	23	53	368
AISI 2345	1-in. round	Drawn 800°F	177	188	20	51	388
AISI 2350	1-in. round	Drawn 800°F	180	194	17	50	402
AISI 3115	1-in. round	Hot-rolled	60	76	32	69	156
		Cold-drawn	78	87	25	62	163
AISI 3120	1-in. round	Drawn 600°F	145	162	12	45	320
		Drawn 1000°F	91	112	22	68	222
AISI 3130	1-in. round	Drawn 600°F	178	210	10	37	404
		Drawn 1000°F	120	137	20	62	276
AISI 3140	1-in. round	Hot-rolled, annealed	64	96	26	56	197
		Cold-drawn	91	104	17	48	212
	1/2-in. round	Drawn 800°F	162	194	14	52	400
	1-in. round	Drawn 800°F	157	188	15	50	376
	2-in. round	Drawn 800°F	128	147	15	47	296
	4-in. round	Drawn 800°F	106	136	16	45	276
	1/2-in. round	Drawn 1200°F	97	115	20	64	236
	4-in. round	Drawn 1200°F	69	100	25	60	196
AISI 3145	1-in. round	Drawn 800°F	164	195	12	47	380
AISI 3150	1-in. round	Drawn 800°F	171	202	12	44	396
AISI 3240	1-in. round	Drawn 600°F	211	237	10	40	466
AISI 3250	1-in. round	Drawn 600°F	214	243	9	37	477
AISI 3340	1-in. round	Drawn 800°F	183	211	13	47	394
AISI 3435	1-in. round	Drawn 800°F	160	184	15	55	362
AISI 4130	1-in. round	Hot-rolled and annealed	60	90	30	45	183
		Cold-drawn and annealed	87	98	21	52	201
	1-in. round	Drawn 1000°F	133	146	17	60	293
	1/2-in. sheet	Drawn 1000°F	138	152	12	...	302
AISI 4140	1-in. round	Hot-rolled and annealed	63	90	27	58	187
		Cold-drawn	90	102	18	50	223
	1-in. round	Drawn 1000°F	131	153	16	45	302
AISI TS4140	1-in. round	Drawn 1000°F	133	158	16	43	311



Tabel A.1 – 3. tensile properties of wrought carbon and alloy steels ( representative approximate values only )

Composition	Size	Condition	Yield strength, ksi	Tensile strength, ksi	Elongation in 2 in., %	Reduction of area, %	Hardness, Bhn
AISI 4340	1-in. round	Hot-rolled and annealed	69	101	21	45	207
	1-in. round	Cold-drawn	99	111	16	42	223
	1-in. round	Drawn 600°F	234	260	12	43	498
	1-in. round	Drawn 1000°F	160	187	15	57	377
AISI 4620	1-in. round	Drawn 800°F	94	130	23	66	256
AISI 4640	1-in. round	Drawn 800°F	170	187	13	54	378
AISI 4650	1-in. round	Drawn 800°F	179	198	13	49	410
AISI E52100	1-in. round	Hot-rolled and annealed	81	100	25	57	192
AISI E6150	1-in. round	Hot-rolled and annealed	58	91	22	53	183
AISI 8620	1-in. round	Drawn 400°F	112	140	17	52	282
	1-in. round	Drawn 800°F	98	122	22	63	246
	1-in. round	Drawn 1200°F	77	98	26	70	194
AISI 8630	1-in. round	Drawn 800°F	142	162	14	54	316
AISI 8742	1-in. round	Drawn 600°F	220	246	12	39	492
	1-in. round	Drawn 1000°F	144	168	15	53	336
	2-in. round	Drawn 1000°F	118	142	17	55	288
	4-in. round	Drawn 1000°F	107	131	18	56	264
AISI 9255	1-in. round	Hot-rolled and annealed	78	115	22	45	223
	1-in. round	Drawn 1000°F	160	180	15	32	352
AISI 9442	1-in. round	Drawn 800°F	180	201	12	43	404
AISI 9840	1-in. round	Drawn 800°F	199	218	12	47	436
AISI 301	$\frac{1}{8}$ -in. round	Wrought (annealed)	40	105	55	70	150
AISI 302	$\frac{1}{8}$ -in. round	Wrought (annealed)	35	90	60	70	150
AISI 303	$\frac{1}{8}$ -in. round	Wrought (annealed)	35	90	50	55	160
AISI 304	$\frac{1}{8}$ -in. round	Wrought (annealed)	30	85	60	70	150





Tabel A.2. Mechanical Properties of plain carbon and alloy steels ( based on a 1 in. diameter specimen )

AISI Type	Condition	Tensile Strength, ksi	Yield Strength, ksi	Elongat. in 2 in., %	Reduction in Area, %	Hardness, BHN	Machinability (Based on 1112 = 100)
1010	HR	64	42	28	67	107	45
	CD	78	68	16	63	129	55
	CDA	64	48	28	65	131	55
1020	HR	65	43	36	59	143	50
	CD	78	66	20	55	156	65
	A	57	52	37	66	111	90
1030	N	64	50	36	68	131	75
	HR & turned	72	44	31	63	140	—
	CD	84	76	16	57	177	65
1040	A	67	50	31	58	126	—
	N	76	51	32	61	149	—
	HR	91	58	27	50	201	63
1045	CD	100	88	17	42	207	65
	A	75	51	30	57	149	—
	N	85	50	28	55	170	60
1050	HR	98	59	24	45	212	56
	CD	103	90	14	40	217	60
	A	90	55	27	54	174	60
1095	N	99	61	25	49	207	—
	HR	105	67	15	—	—	—
	CD	114	104	9	—	—	54
1118	A	92	43	24	40	187	—
	N	109	62	20	39	217	—
	HR	142	83	18	38	295	—
2330	A	95	38	13	21	192	—
	N	147	73	10	14	293	—
	HR	75	50	35	55	140	—
3140	CD	85	75	25	55	170	80
	A	65	41	35	67	131	80
	N	69	46	34	66	143	80
4130	CD	105	90	20	50	212	50
	A	86	61	28	58	179	50
	N	100	68	26	56	207	—
4140	CD	107	92	17	50	212	55
	A	100	61	25	51	197	55
	N	129	87	20	58	262	—
4130	HRA	86	56	29	57	183	65
	CDA	98	87	21	52	201	70
	N	97	63	26	60	197	50

SOURCE: *ASME Handbook Material Properties*, McGraw-Hill Book Co., 1954; *Rymson Data Book*, Joseph T. Rymson and Sons, Inc., 1965.  
NOTE: HR = hot rolled, HRA = hot rolled annealed, CD = cold drawn, CDA = cold drawn annealed, HRN = hot rolled normalized, A = annealed, N = normalized.



Tabel A.3. Mechanical properties of carburizing and hardening grade steels

AISI Type	Tensile Strength, ksi	Yield Point, ksi	Elongation in 2 in., %	Reduction of Area, %	Impact Strength (ft-lb)	Hardness		Machining
						Case (Brinell)	Case (Rockwell)	
	Plain Carbon, Carburized Steels							
C1015	73	46	32	71	91	149 <sup>b</sup>	C62 (.048 <sup>c</sup> )	Poor
C1020	75	48	31	71	93	156 <sup>b</sup>	C62 (.046 <sup>c</sup> )	Poor
C1022	83	47	27	66	81	163 <sup>b</sup>	C62 (.046 <sup>c</sup> )	Good
C1117	97	59	23	53	33	192 <sup>b</sup>	C65 (.045 <sup>c</sup> )	Veri g'd. to excel.
C1118	113	77	17	45	16	229 <sup>b</sup>	C61 (.065 <sup>c</sup> )	Ver g'd. to excel.
	Plain Carbon, Hardened Steels <sup>c</sup>							
C1030	122-75	93-58	18-33	48-71	8-100	495-79 <sup>d</sup>		Fair to good
C1040	113-89	86-62	19-33	48-68	36-72	262-183 <sup>d</sup>		Fair to good
C1050	143-96	108-61	10-30	42-63	16-53	321-192 <sup>d</sup>		Fair to good
C1060	160-103	112-68	12-28	44-60	14-23	321-212 <sup>d</sup>		Must be Annl'd.
C1080	190-117	142-70	12-24	35-51	10-22	388-223 <sup>d</sup>		Must be Annl'd.
C1095	188-190	120-74	10-26	30-53	5-6	401-229 <sup>d</sup>		Must be Annl'd.
C1137	155-87	138-60	6-28	22-70	10-90	352-174 <sup>d</sup>		Good to very good
C1141	237-94	188-68 <sup>e</sup>	7-28	58-63	9-81	461-192 <sup>d</sup>		Good to very good
C1144	128-97	91-68	17-24	35-59	7-62	277-201 <sup>d</sup>		Good to very good

AISI Type	Tensile Strength, ksi	Yield Point, ksi	Elongation in 2 in., %	Reduction of Area, %	Impact Strength (ft-lb)	Hardness		Machining
						Core (Brinell)	Case (Rockwell)	
	Alloy Steels, Hardening Grades <sup>h</sup>							
4130 <sup>i</sup>	234-98	197-89	12-28	44-71	32-108	461-202 <sup>d</sup>		—
8630 <sup>i</sup>	250-115	230-93	10-26	47-70	33-114	495-217 <sup>d</sup>		—
1340	282-100	235-76	9-25	24-61	9-97	578-235 <sup>d</sup>		—
3140	280-112	249-92	11-23	49-69	9-97	555-223 <sup>d</sup>		—
4140 <sup>k</sup>	290-117	251-100	11-23	42-65	11-108	578-235 <sup>d</sup>		—
4340 <sup>l</sup>	284-142	228-130	11-21	48-64	18-77	555-293 <sup>d</sup>		—
5140 <sup>k</sup>	278-114	228-84	8-28	28-68	9-93	534-207 <sup>d</sup>		—
8740	290-119	240-100	10-25	42-64	21-88	578-241 <sup>d</sup>		—
4150	308-128	248-117	10-20	34-60	10-77	578-262 <sup>d</sup>		—
5150	312-116	250-102	9-22	31-62	7-78	601-241 <sup>d</sup>		—
6150 <sup>k</sup>	315-118	270-108	7-22	17-61	14-87	601-241 <sup>d</sup>		—
8650 <sup>l</sup>	282-123	250-114	11-22	41-62	9-78	555-255 <sup>d</sup>		—
9255 <sup>n</sup>	305-130	288-102	2-22	4-49	3-25	601-262 <sup>d</sup>		—
5160 <sup>n</sup>	322-115	260-106	4-24	9-60	2-63	627-229 <sup>d</sup>		—
4063 <sup>m</sup>	345-114	257-103	4-24	8-60	3-67	557-229 <sup>d</sup>		—



## LAMPIRAN B

Tabel B.1. Values for lewis form factor

No. of Teeth	Load at Tips								Load Near Middle			
	14½ deg FD		20 deg FD		20 deg Stub		25 deg		14½ deg FD		20 deg FD	
	$Y$	$y$	$Y$	$y$	$Y$	$y$	$Y$	$y$	$Y$	$y$	$Y$	$y$
10	0.176	0.056	0.201	0.064	0.261	0.083	0.238	0.076				
11	0.192	0.061	0.226	0.072	0.289	0.092	0.259	0.082				
12	0.210	0.067	0.245	0.078	0.311	0.099	0.277	0.088	0.355	0.113	0.415	0.133
13	0.223	0.071	0.264	0.083	0.324	0.103	0.293	0.093	0.377	0.120	0.443	0.141
14	0.236	0.075	0.276	0.088	0.339	0.108	0.307	0.098	0.399	0.127	0.468	0.149
15	0.245	0.078	0.289	0.092	0.349	0.111	0.320	0.102	0.415	0.133	0.490	0.156
16	0.255	0.081	0.295	0.094	0.360	0.115	0.332	0.106	0.430	0.137	0.503	0.160
17	0.264	0.084	0.302	0.096	0.368	0.117	0.342	0.109	0.446	0.142	0.512	0.163
18	0.270	0.086	0.308	0.098	0.377	0.120	0.352	0.112	0.459	0.146	0.522	0.167
19	0.277	0.088	0.314	0.100	0.386	0.123	0.361	0.115	0.471	0.150	0.534	0.170
20	0.283	0.090	0.320	0.102	0.393	0.125	0.369	0.118	0.481	0.153	0.544	0.173
21	0.289	0.092	0.326	0.104	0.399	0.127	0.377	0.120	0.490	0.156	0.553	0.177
22	0.292	0.093	0.330	0.105	0.404	0.129	0.384	0.122	0.496	0.158	0.559	0.178
23	0.296	0.094	0.333	0.106	0.408	0.130			0.502	0.160	0.565	0.180
24	0.302	0.096	0.337	0.107	0.411	0.132	0.396	0.126	0.509	0.162	0.572	0.183





Tabel B.1. Continued

No. of Teeth —	Load at Tips								Load Near Middle			
	14½ deg FD		20 deg FD		20 deg Stub		25 deg		14½ deg FD		20 deg FD	
	Y	y	Y	y	Y	y	Y	y	Y	y	Y	y
25	0.305	0.097	0.340	0.103	0.416	0.133	0.402	0.128	0.515	0.164	0.580	0.184
26	0.308	0.098	0.344	0.109	0.421	0.135	0.407	0.130	0.522	0.166	0.584	0.186
27	0.311	0.099	0.348	0.111	0.426	0.136	0.412	0.131	0.528	0.168	0.588	0.187
28	0.314	0.100	0.352	0.112	0.430	0.137	0.417	0.133	0.534	0.170	0.592	0.189
29	0.316	0.101	0.355	0.113	0.434	0.138	0.421	0.134	0.537	0.171	0.599	0.191
30	0.318	0.101	0.358	0.114	0.437	0.139	0.425	0.135	0.540	0.172	0.606	0.193
31	0.320	0.101	0.361	0.115	0.440	0.140	0.429	0.137	0.554	0.173	0.611	0.195
32	0.322	0.101	0.364	0.116	0.443	0.141	0.433	0.139	0.547	0.174	0.617	0.196
33	0.324	0.103	0.367	0.117	0.445	0.142	0.436	0.139	0.550	0.175	0.623	0.198
34	0.326	0.104	0.371	0.118	0.447	0.142	0.440	0.140	0.553	0.177	0.628	0.200
35	0.327	0.104	0.373	0.119	0.449	0.143	0.443	0.141	0.556	0.177	0.633	0.201
36	0.329	0.105	0.377	0.120	0.451	0.144	0.446	0.142	0.559	0.178	0.639	0.203
37	0.330	0.105	0.380	0.121	0.454	0.144	0.449	0.143	0.563	0.179	0.645	0.205
38	0.333	0.106	0.384	0.122	0.455	0.145	0.452	0.144	0.565	0.180	0.650	0.207
39	0.335	0.107	0.386	0.123	0.457	0.146	0.454	0.145	0.568	0.181	0.655	0.209
40	0.336	0.107	0.389	0.124	0.459	0.146	0.457	0.145	0.570	0.182	0.659	0.210
43	0.339	0.108	0.397	0.126	0.467	0.147	0.464	0.148	0.574	0.183	0.668	0.212
45	0.340	0.108	0.399	0.127	0.468	0.149	0.468	0.149	0.579	0.184	0.678	0.214



Tabel B.2. Safe static stresses for use in the lewis equation

Material	$S_o$ , psi	BHN
Gray cast iron		
ASTM 25	8,000	174
ASTM 35	12,000	212
ASTM 50	15,000	223
Cast steel (low carbon)		
0.20% C not heat treated	20,000	180
0.20% C WQT	25,000	250
Forged carbon steel		
SAE 1020 case hardened and WQT	18,000	156
SAE 1030 not heat treated	20,000	180
SAE 1035 not heat treated	23,000	190
SAE 1040 not heat treated	25,000	202
SAE 1045 not heat treated	30,000	215
SAE 1045 hardened by WQT	32,000	205
SAE 1050 hardened by OQT	35,000	223
Alloy Steels		
SAE 2320 case hardened and WQT	50,000	225
SAE 2345 hardened by OQT	50,000	475
SAE 3115 case hardened and OQT	37,000	212
SAE 3145 hardened by OQT	53,000	475
SAE 3245 hardened by OQT	65,000	475
SAE 4240 hardened by OQT	65,000	475
SAE 4640 hardened by OQT	55,000	475
SAE 6145 hardened by OQT	67,500	475
Copper base materials		
SAE 43 (ASTM B147-52, 8A) (manganese bronze)	20,000	100
SAE 62 (ASTM B143-52, 1A) (gun metal)	10,000	80
SAE 65 (ASTM B144-52, 3C) (phosphor bronze)	12,000	100
SAE 68 (ASTM B148-52, 98) (aluminum bronze, heat treated)	22,000	180
Nonmetals		
Bakelite, Micarta, Celeron	8,000	

Tabel B.3. Overload factor,  $K_o$  ( for speed increasing and decreasing drives )

Power Source	Load on Driven Machine		
	Uniform	Moderate Shock	Heavy Shock
Uniform	1.00	1.25	1.75 or higher
Light shock	1.25	1.50	2.00 or higher
Medium shock	1.50	1.75	2.25 or higher

\* For speed increasing drives of spur and bevel gears (but not helical and herringbone gears), add  $0.01 (n_G/n_P)^2$  to the factors in Table 10-4, where  $N_{IP}$  = number of teeth in pinion;

$N_{IG}$  = number of teeth in pinion;

SOURCE: AGMA

Tabel B.4. Load distribution factor,  $K_m$ 

Condition of Support	Face Width							
	2-in. Face and under		6-in. Face		9-in. Face		16-in. Face and Over	
	Spur	Helical	Spur	Helical	Spur	Helical	Spur	Helical
Accurate mounting, low bearing clearances, minimum elastic deflection, precision gears	1.3	1.2	1.4	1.3	1.5	1.4	1.8	1.7
Less rigid mountings, less accurate gears, contact across full face	1.6	1.5	1.7	1.6	1.8	1.7	2.0	2.0
Accuracy and mounting such that less than full face contact exists	Over 2.0							

SOURCE: AGMA





Tabel B.5. Guide to limiting error in action for steel spur gear ( variation in base pitch )

Number of Pinion Teeth	Allowable Error When Teeth Share Load					Amount of Error When Teeth Fail to Share Load				
	Load per in. of Face, lb					Load per in. of Face, lb				
	500	1000	2000	4000	8000	500	1000	2000	4000	8000
15	0.0004	0.0007	0.0014	0.0024	0.0042	0.0006	0.0011	0.0023	0.0039	0.0064
20	0.0003	0.0006	0.0011	0.0020	0.0036	0.0006	0.0011	0.0023	0.0039	0.0064
25 and higher	0.0002	0.0005	0.0009	0.0017	0.0030	0.0006	0.0011	0.0023	0.0039	0.0064

SOURCE: AGMA

Tabel B.6. Strength of spur, helical, herringbone, and bevel gear teeth

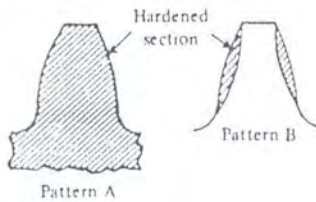
Material	Heat Treatment	Min. Material Hardness or Min. Tensile Strength	$S_{gt}$ , psi	
			Spur, Helical, and Herringbone	Bevel
Steel	Normalized	140 BHN	19-25,000	11,000
	Quenched and tempered	180 BHN	25-33,000	14,000
	Quenched and tempered	300 BHN	36-47,000	19,000
	Quenched and tempered	450 BHN	44-59,000	25,000
	Case carburized	55 $R_c$	55-65,000	27,500
	Case carburized	60 $R_c$	60-70,000	30,000
	Induction or flame Hardened, hardness Pattern A of Footnote 1	54 $H$	45-55,000*	
	Hardness Pattern of Footnote 1	54 $R_c$ at Hardened surface	22,000	13,500
	Nitrided AISI 4140	53 $R_c$ case 300 BHN core	37-42,000*	20,000



Cast Iron AGMA Grade 20 AGMA Grade 30 AGMA Grade 40		175 BHN 200 BHN	5,000 8,500 13,000	2,700 4,600 7,000
Nodular Iron ASTM Grade 60-40-18 ASTM Grade 80-55-06	Annealed		15,000 20,000	8,000 11,000
ASTM Grade 100-70-03 ASTM Grade 120-90-02	Normalized Quenched and tempered		26,000 30,000	14,000 18,500
Bronze AGMA 2c (10%-12% Tin)		40,000 psi	5,700	3,000
Aluminum Bronze ASTM B-148-52 Alloy 9C-H.T.		90,000 psi	23,600	12,000

Footnote (1)

\* Values for teeth 6 DP and finer



SOURCE: AGMA

† For heavy gears these hardnesses will be lower, hence, lower values of allowable stress should be used.

Tabel B.7. Life factor,  $K_L$

Number of Cycles	Spur, Helical and Herringbone				Bevel Gears
	160 BHN	250 BHN	450 BHN	Case Carburized†	Case Carburized†
Up to 1,000	1.6	2.4	3.1	2.7	4.6
10,000	1.4	1.9	2.4	2.0	3.1
100,000	1.2	1.4	1.7	1.5	2.1
1 million	1.1	1.1	1.2	1.1	1.4
10 million	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
100 million and over	1.0-0.8*	1.0-0.8*	1.0-0.8*	1.0-0.8*	1.0

\* The life factor for over 100 million cycles is sometimes handled by service factor, the factor of safety, or by reduced allowable stresses. For reference purposes, see Standard AGMA 151.02, Application classification for helical, herringbone and spiral bevel gear speed reducers, and Standard AGMA 411.02, Design procedure for aircraft engine and power take-off spur and helical gears.

† Case carburized 55-63 HRC.

SOURCE: AGMA



Tabel B.8. Factors of safety,  $K_R$  ( fatigue strength )

Requirements of Application	$K_R$
High reliability	1.50 or higher
Fewer than 1 failure in 100	1.00
Fewer than 1 failure in 3	0.70

SOURCE: AGMA

Tabel B.9. Factors of safety,  $K_R$  ( yeild strength )

Requirements of Application	$K_R$
High Reliability	3.00 or higher
Normal Design	1.33

SOURCE: AGMA



Tabel B.10. Wear load factor,  $K$ , and surface endurance limit

Materials in Pinion and Gear	Surface Endurance Limit, $S_e$ , psi	$K$		
		$\phi = 14\frac{1}{2}$ deg.	$\phi = 20$ deg.	$\phi = 25$ deg.
Both gears steel, with average brinell hardness number of pinion and gear				
150	50,000	30	41	51
175	60,000	43	58	72
200	70,000	58	79	98
225	80,000	76	103	127
250	90,000	96	131	162
275	100,000	119	162	200
300	110,000	144	196	242
325	120,000	171	233	288
350	130,000	196	270	333
375	140,000	233	318	384
400	150,000	268	366	453
Steel (BHN 150) and cast iron	50,000	44	60	74
Steel (BHN 200) and cast iron	70,000	87	119	147
Steel (BHN 250) and cast iron	90,000	144	196	242
Steel (BHN 150) and phosphor bronze	59,000	46	62	77
Steel (BHN 200) and phosphor bronze	65,000	73	100	123
Steel (BHN 250) and phosphor bronze	85,000	135	184	228
Cast iron and cast iron	90,000	193	264	327
Cast iron and phosphor bronze	83,000	170	234	288

Tabel B. 11. Elastic coefficient,  $C_p$ 

Pinion Material and Modulus of Elasticity, $E$		Gear Material and Modulus of Elasticity			
		Steel	Cast Iron	Aluminum Bronze	Tin Bronze
		$30 \times 10^6$	$19 \times 10^6$	$17.5 \times 10^6$	$16 \times 10^6$
Steel	$30 \times 10^6$	2300	2000	1950	1900
Cast iron	$19 \times 10^6$	2000	1800	1800	1750
Aluminum	$17.5 \times 10^6$	1950	1800	1750	1700
Tin bronze	$16 \times 10^6$	1900	1750	1700	1650

SOURCE: AGMA.

Poisson's ratio = 0.30

NOTE: When more exact values of  $E$  are obtained from roller contact tests, they can be used.

Tabel B.12. Load distribution factor for spur, helical, and herringbone gears,  $C_m$ 

Ratio of $\frac{b}{d}$	Contact	$C_m$
1 or less	95% face width contact obtained at one-third torque 95% face width contact obtained at full torque	1.4 at $\frac{1}{3}$ torque 1.1 at full torque
	75% face width contact obtained at one-third torque 95% face width contact obtained at full torque	1.8 at $\frac{1}{3}$ torque 1.3 at full torque
	35% face width contact obtained at one-third torque 95% face width contact obtained at full torque	2.5 at $\frac{1}{3}$ torque 1.9 at full torque
	20% face width contact obtained at one-third torque 75% face width contact obtained at full torque	4.0 at $\frac{1}{3}$ torque 2.5 at full torque
	Teeth are crowned 35% face width contact obtained at one-third torque 85% face width contact obtained at full torque	2.5 at $\frac{1}{3}$ torque 1.7 at full torque
Over 1 but less than 2	Calculated combined twist and bending of pinion not over 0.001" over entire face Pinion not over 250 BHN hardness 75% contact obtained at one-third torque 95% contact obtained at full torque	2.0 at $\frac{1}{3}$ torque 1.4 at full torque
	Calculated combined twist and bending of pinion not over 0.0007" over entire face Pinion not over 350 BHN hardness 75% contact obtained at one-third torque 95% contact obtained at full torque	2.0 at $\frac{1}{3}$ torque 1.4 at full torque
	30% contact obtained at one-third torque 75% contact obtained at full torque	4.0 at $\frac{1}{3}$ torque 3.0 at full torque
	Twist and bending exceeds 0.001" over entire face	Calculate effects of deflection and either adjust helix angle to compensate for deflection or increase $C_m$ to allow for both alignment errors and deflection

SOURCE: AGMA



Tabel B.13. Allowable contact stress number,  $S_{ac}$

Material	Surface Hardness, min	$S_{ac}$	Material	Surface Hardness, min	$S_{ac}$
Steel	Through hardened		Cast iron		
	180 Bhn	85-95,000	AGMA grade 20	—	50-60,000
	240 Bhn	105-115,000	AGMA grade 30	175 Bhn	65-75,000
	300 Bhn	120-135,000	AGMA grade 40	200 Bhn	75-85,000
	360 Bhn	145-160,000	Nodular iron	165 Bhn	90-100% of the $S_{ac}$ value of steel with the same hardness
	440 Bhn	170-190,000			
	Case carburized		Annealed	210 Bhn	
	55 $R_c$	180-200,000	Normalized	255 Bhn	
	60 $R_c$	200-225,000	Oil quench and temper		
	Flame or induction hardened		Bronze	Tensile Strength psi (min)	$S_{ac}$
	50 $R_c$	170-190,000	Tin bronze		
			AGMA 2C (10-12% Tin)	40,000	30,000
			Aluminum bronze	90,000	65,000
			ASTM B 148-52 (Alloy 9C-H.T.)		

SOURCE: AGMA.

Tabel B.14. Typical gear and pinion hardness combinations

Gear BHN	Pinion BHN
180	210
210	245
225	265
245	285
255	300
270	315
285	335
300	350

SOURCE: AGMA.





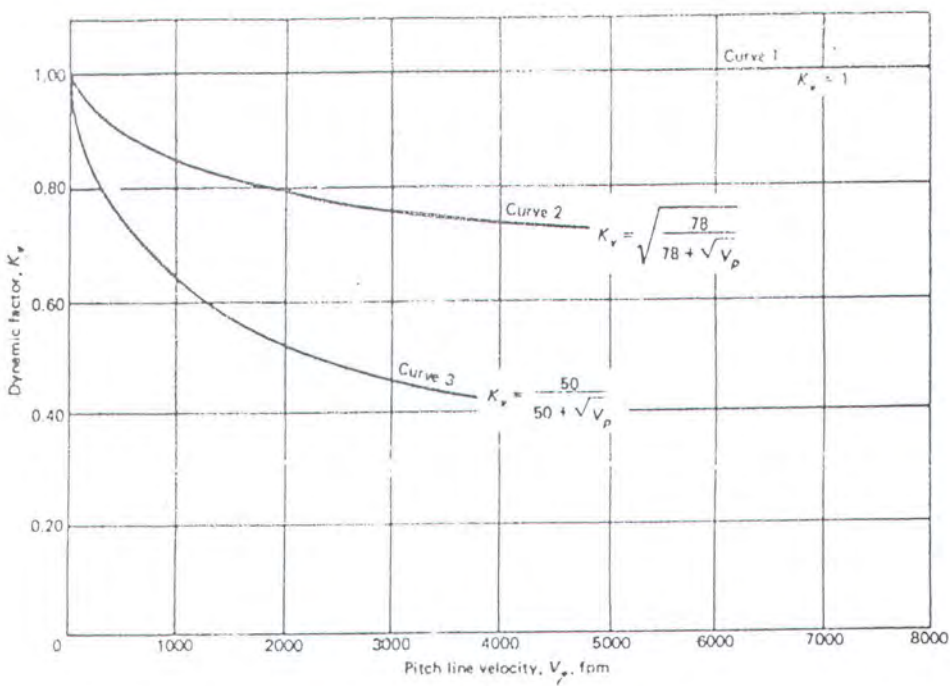
Tabel B.15. Factor of safety,  $C_R$

Requirements of Application	$C_R$
High reliability	1.25 or higher
Fewer than one failure in 100	1.00
Fewer than one failure in three	0.80*

SOURCE: AGMA.

\*At this value plastic profile deformation might occur before pitting.

Grafik B.16. Dynamic factor,  $K_v$





### LAMPIRAN C

Tabel C.1. Coeffisients of friction  $f_s$  dan  $f_c$

Screw Material	Steel	Brass	Eronze	Cast Iron
Steel (dry)	0.15-0.25	0.15-0.23	0.15-0.19	0.15-0.25
Steel (lu-bricated)	0.11-0.17	0.10-0.16	0.10-0.15	0.11-0.17
Bronze	0.08-0.12	0.04-0.60	-	0.06-0.09

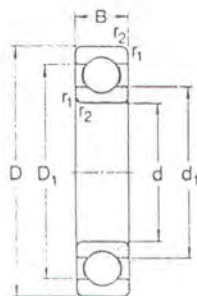
Tabel C.2. Design values of coefficients of friction  $f$  for various materials

Wheel material	Operating conditions	$f$
Steel on steel or cast iron	In oil	0.05
Steel on steel or cast iron	dry	0.1-0.15
Textolite on steel or cast iron	dry	0.2-0.25
Fibre on steel or cast iron	dry	0.15-0.20
Leather on cast iron	dry	0.25-0.35
Wood on cast iron	dry	0.40-0.50
Special rubber 'on cast iron	dry	0.50-0.75

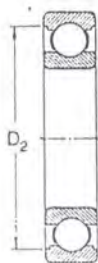


## LAMPIRAN D

Tabel D.1. Deep groove bearings d 3 – 15 mm



with full outer  
ring shoulder



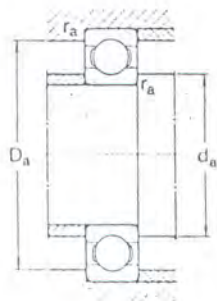
with recessed outer  
ring shoulder

Principal dimensions			Basic load ratings		Limiting speeds		Mass	Designation
d	D	B	C	C <sub>0</sub>	Lubrication			
mm			N		grease	oil	kg	–
3	10	4	488	170	40 000	48 000	0,0015	623
4	9	2,5	540	183	45 000	53 000	0,00070	618/4
	13	5	884	315	38 000	45 000	0,0031	624
	16	5	1 110	440	34 000	40 000	0,0054	634
5	11	3	637	232	40 000	48 000	0,0012	618/5
	16	5	1 110	440	34 000	40 000	0,0050	625
	19	6	1 720	720	32 000	38 000	0,0090	635
6	13	3,5	684	325	38 000	45 000	0,0020	618/6
	19	6	1 720	720	32 000	38 000	0,0084	626
7	14	3,5	956	360	38 000	45 000	0,0022	618/7
	19	6	1 720	720	34 000	40 000	0,0075	607
	22	7	3 250	1 340	30 000	36 000	0,013	627
8	16	4	1 330	530	36 000	43 000	0,0030	618/8
	22	7	3 250	1 340	32 000	38 000	0,012	608
9	17	4	1 430	585	34 000	40 000	0,0034	618/9
	24	7	3 710	1 530	30 000	36 000	0,014	609
	26	8	4 620	1 960	26 000	32 000	0,020	629
10	19	5	1 480	630	32 000	38 000	0,0055	61800
	26	8	4 620	1 960	28 000	34 000	0,019	6000
	28	8	4 620	1 960	28 000	34 000	0,022	16100
	30	9	5 070	2 240	24 000	30 000	0,032	6200
	35	11	8 060	3 750	20 000	26 000	0,053	6300
12	21	5	1 430	695	30 000	36 000	0,0063	61801
	28	8	5 070	2 240	26 000	32 000	0,022	6001
	30	8	5 070	2 240	24 000	30 000	0,023	16101
	32	10	6 890	3 100	22 000	28 000	0,037	6201
	37	12	9 750	4 650	19 000	24 000	0,060	6301
15	24	5	1 560	815	26 000	32 000	0,0074	61802
	32	8	5 590	2 500	22 000	28 000	0,025	16002
	32	9	5 590	2 500	22 000	28 000	0,030	6002
	35	11	7 800	3 550	19 000	24 000	0,045	6202
	42	13	11 400	5 400	17 000	20 000	0,082	6302





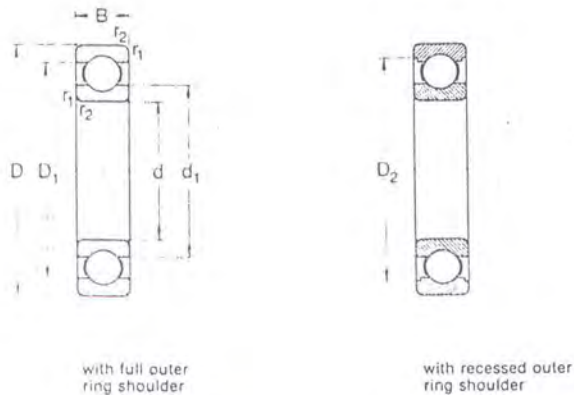
Continue



Dimensions					Abutment and fillet dimensions		
d	d <sub>1</sub> ≈	D <sub>1</sub> ≈	D <sub>2</sub> ≈	r <sub>1,2</sub> min	d <sub>a</sub> min	D <sub>a</sub> max	r <sub>a</sub> max
mm					mm		
3	5,2	7,5	8,2	0,15	4,2	8,8	0,1
4	5,2	7,5	—	0,15	5,2	7,8	0,1
	6,7	10,3	11,2	0,2	5,6	11,4	0,2
	8,4	12	13,3	0,3	6	14	0,3
5	6,8	9,2	—	0,15	6,2	9,8	0,1
	8,4	12	13,3	0,3	7	14	0,3
	10,7	15,3	16,5	0,3	7	17	0,3
6	7,9	11,1	—	0,15	7,2	11,8	0,1
	10,7	15,3	16,5	0,3	8	17	0,3
7	8,9	12,1	—	0,15	8,2	12,8	0,1
	10,7	15,3	16,5	0,3	9	17	0,3
	11,8	17,6	19	0,3	9	20	0,3
8	10,1	13,9	—	0,2	9,6	14,4	0,2
	11,8	17,6	19	0,3	10	20	0,3
9	11,1	14,9	—	0,2	10,6	15,4	0,2
	14,2	19,8	21,2	0,3	11	22	0,3
	14,4	21,4	22,6	0,3	11	24	0,3
10	12,6	16,4	—	0,3	12	17	0,3
	14,4	21,4	22,6	0,3	12	24	0,3
	14,7	22,3	—	0,3	12	26	0,3
	16,7	23,2	24,8	0,6	14	26	0,6
	17,7	26,8	28,7	0,6	14	31	0,6
12	15	18,2	—	0,3	14	19	0,3
	16,7	23,4	24,8	0,3	14	26	0,3
	17,7	25,3	—	0,3	14	28	0,3
	18,2	25,9	27,4	0,6	16	28	0,6
	19,5	29,7	31,5	1	17	32	1
15	17,9	21,1	—	0,3	17	22	0,3
	20,3	27	—	0,3	17	30	0,3
	20,3	27	20,2	0,3	17	30	0,3
	21,5	29,2	30,4	0,6	19	31	0,6
	23,7	33,9	36,3	1	20	37	1



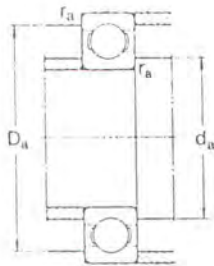
Tabel D.2. Deep groove bearings d 17 – 40 mm



Principal dimensions			Basic load ratings		Limiting speeds		Mass	Designation
d	D	B	C	C <sub>0</sub>	Lubrication			
					grease	oil		
mm			N		r/min		kg	—
17	26	5	1 680	930	24 000	30 000	0,0082	61803
	35	6	6 050	2 800	19 000	24 000	0,032	16003
	35	10	6 050	2 800	19 000	24 000	0,039	6003
	40	12	9 560	4 530	17 000	20 000	0,065	6203
	47	14	13 500	6 550	16 000	19 000	0,12	6303
	62	17	22 900	11 800	12 000	15 000	0,27	6403
20	32	7	2 700	1 500	19 000	24 000	0,018	61804
	42	8	7 020	3 400	17 000	20 000	0,050	16004
	42	12	9 360	4 500	17 000	20 000	0,069	6004
	47	14	12 700	6 200	15 000	18 000	0,11	6204
	52	15	15 900	7 800	13 000	16 000	0,14	6304
	72	19	30 700	16 600	10 000	13 000	0,40	6404
25	37	7	3 120	1 960	17 000	20 000	0,022	61805
	47	8	7 610	4 000	14 000	17 000	0,060	16005
	47	12	11 200	5 600	15 000	18 000	0,080	6005
	52	15	14 000	6 950	12 000	15 000	0,13	6205
	62	17	22 500	11 400	11 000	14 000	0,23	6305
	80	21	35 800	19 600	9 000	11 000	0,53	6405
30	42	7	3 120	2 080	15 000	18 000	0,026	61806
	55	9	11 200	5 850	12 000	15 000	0,085	16006
	55	13	13 300	6 800	12 000	15 000	0,12	6006
	62	16	19 500	10 000	10 000	13 000	0,20	6206
	72	19	28 100	14 600	9 000	11 000	0,35	6306
	90	23	43 600	24 000	8 500	10 000	0,74	6406
35	47	7	4 030	3 000	13 000	16 000	0,030	61807
	62	9	12 400	6 950	10 000	13 000	0,11	16007
	62	14	15 900	8 500	10 000	13 000	0,16	6007
	72	17	25 500	13 700	9 000	11 000	0,29	6207
	80	21	33 200	18 000	8 500	10 000	0,46	6307
	100	25	55 300	31 000	7 000	8 500	0,95	6407
40	52	7	4 160	3 350	11 000	14 000	0,034	61808
	68	9	13 300	7 800	9 500	12 000	0,13	16008
	68	15	16 800	9 300	9 500	12 000	0,19	6008
	80	18	30 700	16 600	8 500	10 000	0,37	6208
	90	23	41 000	22 400	7 500	9 000	0,63	6308
	110	27	63 700	36 500	6 700	8 000	1,25	6408



Continue

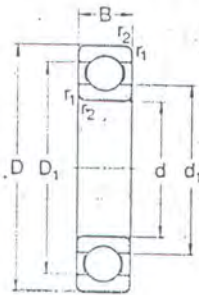


Dimensions					Abutment and fillet dimensions		
d	d <sub>1</sub> ≈	D <sub>1</sub> ≈	D <sub>2</sub> ≈	r <sub>1,2</sub> min	d <sub>A</sub> min	D <sub>A</sub> max	r <sub>A</sub> max
mm					mm		
17	20,2	23,2	—	0,3	19	24	0,3
	22,6	29,5	—	0,3	19	33	0,3
	22,8	29,5	31,2	0,3	19	33	0,3
	24,2	32,9	35	0,6	21	36	0,6
	26,5	37,6	39,6	1	22	42	1
	32,4	47,4	—	1,1	23,5	55,5	1
20	24	28,3	—	0,3	22	30	0,3
	27,2	34,6	—	0,3	22	40	0,3
	27,2	35,1	37,2	0,6	24	38	0,6
	28,5	38,7	40,6	1	25	42	1
	30,3	42,1	44,8	1,1	26,5	45,5	1
	37,1	55,6	—	1,1	26,5	65,5	1
25	29	33	—	0,3	27	35	0,3
	33,3	40,7	—	0,3	27	45	0,3
	32	40,3	42,2	0,6	29	43	0,6
	34	44,2	46,3	1	30	47	1
	36,6	50,9	52,7	1,1	31,5	55,5	1
	45,4	63,8	—	1,5	33	72	1,5
30	33,8	38,2	—	0,3	32	40	0,3
	38	47,3	—	0,3	32	53	0,3
	38,2	47,1	49	1	35	50	1
	40,3	52,1	54,1	1	35	57	1
	44,6	59,9	61,9	1,1	36,5	65,5	1
	50,3	70,7	—	1,5	38	82	1,5
35	38,8	43,2	—	0,3	37	45	0,3
	44	53,3	—	0,3	37	60	0,3
	43,7	53,6	55,7	1	40	57	1
	46,9	60,6	62,7	1,1	41,5	65,5	1
	49,5	66,1	69,2	1,5	43	72	1,5
	57,4	80,6	—	1,5	43	92	1,5
40	43,8	48,2	—	0,3	42	50	0,3
	49,4	57	—	0,3	42	66	0,3
	49,2	59,1	61,1	1	45	63	1
	52,6	67,9	69,8	1,1	46,5	73,5	1
	56,1	74,7	77,7	1,5	48	82	1,5
	62,8	88	—	2	49	101	2

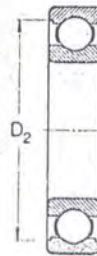




Tabel D.3. Deep groove bearings d 45 – 70 mm



with full outer  
ring shoulder

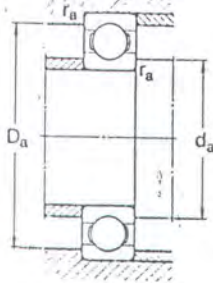


with recessed outer  
ring shoulder

Principal dimensions			Basic load ratings		Limiting speeds		Mass	Designation
d	D	B	C	C <sub>0</sub>	Lubrication grease	oil		
mm			N		r/min		kg	-
45	58	7	6 050	3 800	9 500	12 000	0,040	61809
	75	10	15 600	9 300	9 000	11 000	0,17	16009
	75	16	21 200	12 200	9 000	11 000	0,25	6009
	85	19	33 200	18 600	7 500	9 000	0,41	6209 ✓
	100	25	52 700	30 000	6 700	8 000	0,83	6309
	120	29	76 100	45 500	6 000	7 000	1,55	6409
50	65	7	6 240	4 250	9 000	11 000	0,052	61810
	80	10	16 300	10 000	8 500	10 000	0,18	16010
	80	16	21 600	13 200	8 500	10 000	0,26	6010
	90	20	35 100	19 600	7 000	8 500	0,46	6210
	110	27	61 800	36 000	6 300	7 500	1,05	6310
	130	31	87 100	52 000	5 300	6 300	1,90	6410
55	72	9	8 320	5 600	8 500	10 000	0,083	61811
	90	11	19 500	12 200	7 500	9 000	0,26	16011
	90	16	28 100	17 000	7 500	9 000	0,39	6011
	100	21	43 600	25 000	6 300	7 500	0,61	6211
	120	29	71 500	41 500	5 600	6 700	1,35	6311
	140	33	99 500	63 000	5 000	6 000	2,30	6411
60	78	10	8 710	6 100	7 500	9 000	0,11	61812
	95	11	19 900	13 200	6 700	8 000	0,28	16012
	95	16	29 600	18 300	6 700	8 000	0,42	6012
	110	22	47 500	28 000	6 000	7 000	0,78	6212
	130	31	81 900	48 000	5 000	6 000	1,70	6312
	150	35	106 000	69 500	4 800	5 600	2,75	6412
65	85	10	11 700	8 300	7 000	8 500	0,13	61813
	100	11	21 200	14 600	6 300	7 500	0,30	16013
	100	16	30 700	19 600	6 300	7 500	0,44	6013
	120	23	55 900	34 000	5 300	6 300	0,99	6213
	140	33	92 300	56 000	4 800	5 600	2,10	6313
	160	37	119 000	78 000	4 500	5 300	3,30	6413
70	90	10	12 100	9 150	6 700	8 000	0,14	61814
	110	13	28 100	19 000	6 000	7 000	0,43	16014
	110	20	37 700	24 500	6 000	7 000	0,60	6014
	125	24	61 800	37 500	5 000	6 000	1,05	6214
	150	35	104 000	63 000	4 500	5 300	2,50	6314
	180	42	143 000	104 000	3 800	4 500	4,85	6414



Continue



Dimensions					Abutment and fillet dimensions		
d	d <sub>1</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	r <sub>1,2</sub> min	d <sub>a</sub> min	D <sub>a</sub> max	r <sub>a</sub> max
mm					mm		
45	48,7	54,3	—	0,3	47	56	0,3
	55	65,4	—	0,6	49	71	0,6
	54,7	65,6	67,8	1	50	70	1
	57,6	72,9	75,2	1,1	51,5	78,5	1
	62,1	83,7	86,7	1,5	53	92	1,5
	68,9	96,9	—	2	54	111	2
50	54,7	60,3	—	0,3	52	63	0,3
	60	70,4	—	0,6	54	76	0,6
	59,7	70,6	72,8	1	55	75	1
	62,5	78,1	81,7	1,1	56,5	83,5	1
	68,7	92,1	95,2	2	59	101	2
	75,4	106	—	2,1	61	119	2
55	60,2	66,8	—	0,3	57	70	0,3
	67	78	—	0,6	59	86	0,6
	66,3	79,1	81,5	1,1	61,5	83,5	1
	69	86,6	89,4	1,5	63	92	1,5
	75,3	101	104	2	64	111	2
	81,5	115	—	2,1	66	129	2
60	65,6	72,4	—	0,3	62	76	0,3
	72	83,4	—	0,6	64	91	0,6
	71,3	84,1	86,5	1,1	66,5	88,5	1
	75,5	94,2	97	1,5	68	102	1,5
	81,8	109	113	2,1	71	119	2
	88,1	123	—	2,1	71	139	2
65	71,1	78,9	—	0,6	69	81	0,6
	76,5	88,5	—	0,6	69	96	0,6
	76,3	89,1	91,5	1,1	71,5	93,5	1
	83,3	103	106	1,5	73	112	1,5
	88,3	118	122	2,1	76	129	2
	94	132	—	2,1	76	149	2
70	76,1	83,9	—	0,6	74	86	0,6
	83,3	97,1	—	0,6	74	106	0,6
	82,8	97,6	99,9	1,1	76,5	103,5	1
	87	109	111	1,5	78	117	1,5
	94,9	126	130	2,1	81	139	2
	103	147	—	3	83	167	2,5